Canadian
Special Publication
of Fisheries and Aquatic Sciences

Feeding of Rainbow Trout

J. W. Hilton and S. J. Slinger

84- 2834 /

Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 55

Nutrition and Feeding of Rainbow Trout

J. W. Hilton and S. J. Slinger

Department of Nutrition
College of Biological Science
University of Guelph
Guelph, Ont. N1G 2W1

Department of Fisheries and Oceans
Ottawa 1981

Published by

Government of Canada
Fisheries and Oceans

Scientific Information
and Publications Branch

Ottawa K1A 0E6

Publié par

Gouvernement du Canada
Pêches et Océans

Direction de l'information
et des publications scientifiques

©Minister of Supply and Services Canada 1981

Available from authorized bookstore agents and
other bookstores,
or you may send your prepaid order to the
Canadian Government Publishing Centre,
Supply and Services Canada, Hull, Que. K1A 0S9.

Make cheques or money orders payable in
Canadian funds
to the Receiver General for Canada.

A deposit copy of this publication is also available
for reference in public libraries across Canada.

Canada: $3.00 Catalog No. Fs 41-31/55
Other countries: $3.60 ISBN 0-660-10886-0
ISSN 0706-6481

Price subject to change without notice
Ottawa

Printed in Canada
by
Donald F. Runge Limited

Correct citation for this publication:

Hilton, J. W., and S. J. Slinger. 1981. Nutrition and feeding of
rainbow trout. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.
55: 15 p.

Contents

Abstract/Résumé iv

History of Aquaculture — Salmonid Fish Culture 1

Nutrient Requirements 1
- Protein requirements; essential amino acids; protein quality 1
- Lipid-fat requirements; levels of dietary lipid; quality of fat 2
- Carbohydrate 3
- Vitamin requirements 4
- Mineral requirements 5

Effect of Ambient Temperature on Nutrient Requirements 6

Digestibility Measurements in Feedstuffs for Feed Formulation 7

Feed Formulation, Processing, and Quality Control 7
- Feed formulation 7
- Processing 9
- Quality control of feeds and feed ingredients 11

Feeding Practices and Feeding Rates 12
- Feeding practices 12
- Feeding rates 12

Acknowledgments 13

Selected Readings 14

Abstract

HILTON, J. W., AND S. J. SLINGER. 1981. Nutrition and feeding of rainbow trout. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 55: 15 p.

This special publication is designed to describe to the fish farmer and feed manufacturer the basic elements of salmonid nutrition. Described briefly are the requirements and functions of the nutrients as far as these are known at the present time. The state of the art of feed formulation for salmonids is also described, together with the quality control parameters for the most important ingredients included in salmonid diets. It is pointed out that all fish feeds must be processed to produce feed particles of appropriate size for fish of different ages and sizes. The digestibility and balance of nutrients assumes greater importance in diets for fish than in those for terrestrial species because of the importance of preventing eutrophication and increasing the biological oxygen demand in the fish pond or raceway. Guides have been established indicating the approximate amount of feed to give daily to fish of various sizes and water temperatures. Since fish are poikilotherms whose body temperature, and thus their metabolic rate and feeding activity, varies directly with the ambient water temperature, feeding rates and growth rates are markedly reduced as the temperature decreased from about 15 to 4°C. Our knowledge of fish nutrition is still rudimentary as compared with that of the domestic animals. Suggestions are given concerning important nutrition research projects for the future. Further research in nutrition promises to reduce fish production costs markedly.

Key words: Salmo gairdneri, rainbow trout, nutrition, feeding

Résumé

HILTON, J. W., AND S.J. SLINGER. 1981. Nutrition and feeding of rainbow trout. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 55: 15 p.

Le but de cette publication spéciale est de décrire, à l'intention du pisciculteur et du manufacturier de nourriture à poissons, les éléments de base de la nutrition des salmonidés. On y décrit brièvement les exigences et les fonctions des substances nutritives, en autant qu'on les connaisse présentement. On décrit également l'état de nos connaissances sur la formulation des rations destinées aux salmonidés, ainsi que les paramètres de contrôle de la qualité des ingrédients les plus importants qu'elles contiennent. Toutes les nourritures à poissons, souligne-t-on, doivent être traitées de façon à donner des particules de grosseur appropriée de façon à des poissons de tailles et d'âges différents. La digestibilité et l'équilibre des substances nutritives sont plus importants pour les poissons que pour les espèces terrestres, car il faut prévenir l'eutrophisation et l'augmentation de la demande biologique d'oxygène dans l'étang ou le canal. Des directive sont présentées quant à la quantité de nourriture approximative à donner quotidiennement à des poissons de diverses tailles et diverses températures de l'eau. Comme les poissons sont des animaux poïkilothermes dont la température du corps et, partant, leur taux métabolique et leur activité alimentaire varient en fonction directe de la température de l'eau ambiante, les taux d'alimentation et de croissance diminuent notablement à mesure que la température baisse entre 15 et 4°C. Comparées à celles des animaux domestiques, nos connaissances sur la nutrition des poissons sont encore rudimentaires. Nous suggérons certains travaux de recherche importants sur la nutrition. Cette recherche permettrait de réduire considérablement les coûts de production du poisson.

History of Aquaculture — Salmonid Fish Culture

The development of salmonid culture dates back to 1741 when Stephan Ludwig Jacobi established the first trout hatchery in Germany. Since that time fish anglers have begun to depend on culturists to augment and maintain salmonid fisheries throughout the world. In Ontario the development of fish hatcheries dates back to the 1800s, yet despite this relatively early introduction, the techniques involved with salmonid culture have advanced slowly. Only in the last 10–20 yr, with the rapid development in the number and size of trout hatcheries, has research and development in trout culture gained momentum.

The development of fish nutrition has also been slow, and active research in the field was only initiated just prior to World War II. At that time, a trout and salmon hatchery at Cortland, New York first investigated nutrient requirements and feed formulation for salmonids under the direction of such early pioneers as A. V. Tunison and A. M. Phillips. Since that time researchers in North America, Northern Europe, and Japan have advanced the study of fish nutrition particularly in the last 10 years.

The cost of fish feed amounts to approximately 30–50% of the total cost of producing trout in Ontario. Feed formulation is still largely done on a best estimate basis since there are so many gaps in the information required to permit a more scientific approach. In spite of these facts little research is being conducted on the means of improving our knowledge of nutrition, feed formulation, and processing. There is little doubt that highly significant gains could be made in the cost of producing rainbow trout by judicious research in nutrition, feed formulation, and the technology of feed production.

This manual gives a report on the present-day knowledge of fish nutrition with a description of the major nutrients required by fish, namely proteins, fats (lipids), carbohydrates, vitamins, and minerals, and to indicate the significance of this work to the fish farmer. The report identifies not only areas where active research is being conducted but also those areas of fish nutrition which have lacked adequate investigation and should be emphasized in the future.

Nutrient Requirements

Protein Requirements

The protein component of a trout diet is the single most expensive portion in the formulation. For this reason, it is obviously desirable to use the most economical and adequate protein sources available. For terrestrial species of animals, commercial feed manufacturers generally use mainly vegetable protein sources, due to their nutritional adequacy, commercial availability, and cost advantages. Unfortunately, at the present time, vegetable protein sources can be used to only a limited extent in salmonid diet formulation, although it is a goal of fish nutritionists to completely eliminate the necessity of including animal-protein sources, particularly fish meal, in fish feeds. However, it is unlikely that this will be accomplished in the near future. The optimal dietary protein level for very young trout is 45–50% of diet (starter diets), while juvenile trout require 40% (production diets), and older trout 35% (maintenance diets) dietary crude protein.

Essential Amino Acids

Proteins are variable in their chemical make-up. Amino acids are the building blocks of proteins and no two proteins contain the same complement of amino acids. Of the some 25 amino acids found in proteins, fish can synthesize all but 10, these being termed the essential amino acids. The essential amino acids are listed in Table 1, along with the levels at which they are required in a balanced diet. For a protein source to be adequate for a salmonid diet, it must supply all of the essential amino acids at or near the requirement levels and sufficient of the nonessential amino acids to satisfy the total protein requirement. Not only must the essential amino acid requirements be satisfied, but the ratio of certain essential amino acids in relation to each other is also critical.

Protein Quality

Protein sources or supplements for trout diets should be chosen to be highly digestible and as previously stated they must match the essential amino

Table 1. The essential amino acids and requirement levels for salmonids.

	Requirement level			
	Rainbow trout[a]		Salmon[b]	
Arginine	3.5[c]	(1.4)[d]	6	(2.4)
Histidine	1.6	(0.6)	1.8	(0.7)
Isoleucine	2.4	(1.0)	2.2	(0.9)
Leucine	4.4	(1.8)	3.9	(1.6)
Lysine	5.3	(2.1)	5	(2.0)
Methionine[e]	1.8	(0.7)	4	(1.6)
Cystine	0.9	(0.4)	–	
Phenylalanine[f]	3.1	(1.2)	5.1	(2.1)
Tyrosine	2.1	(0.8)	–	
Threonine	3.4	(1.4)	2.2	(0.9)
Tryptophan	0.5	(0.2)	0.5	(0.2)
Valine	3.1	(1.2)	3.2	(1.3)

[a]From Ogino (1980).
[b]From Halver (1972).
[c]As a percentage of protein.
[d]As a percentage of diet, assuming a 40% dietary protein level.
[e]In absence of cystine in salmon.
[f]In absence of tyrosine in salmon.

acid requirements of the fish. Such protein supplements as high quality fish meal, soybean meal, corn gluten meal, and various animal by-products such as meat meal, poultry by-product meal, hydrolyzed feather meal, and ring dried or spray dried blood meal are most appropriate in fish feeds. Attempts are now being made through research to replace a larger proportion of the fish meal with vegetable protein meals and various of the animal by-product protein supplements. High quality fish meal is usually (but not invariably) more expensive than vegetable protein supplements. In addition, fish meals may become contaminated with environmental toxicants such as heavy metals and pesticides. Thus far, the complete replacement of fish meals has been unsuccessful and a considerable amount of high quality fish meal is still required in diets for optimum results. Starter diets still require at least 35% fish meal while approximately 20% is required in production and brood stock diets. The lack of success with diets high in vegetable protein sources such as soybean meal and corn-gluten meal is not completely understood. The enhancing effect of high quality fish meal on growth may be due to the superior amino acid balance of fish meals, the organoleptic properties of fish meals, the carbohydrate content of the soybean meal, or to some as yet unidentified growth factor in fish meal. Recent research with soybean meal diets supplemented with various levels of different amino acids showed improved growth response of rainbow trout which suggests that the amino acid balance of soybean meal is not ideal for the trout. There are also higher levels of a number of essential mineral elements in fish meal than in soybean meal. In addition it has been shown recently that the trout has chemoreceptor mechanisms for the taste and smell of feed. It may be that some of the compounds that have been shown to stimulate these senses are present in fish meal but not in soybean meal. It is also possible that soybean meal is not palatable to the fish; our experimental results would tend to bear this out. Furthermore, soybean meal and other vegetable protein supplements are considerably higher in carbohydrate content than fish meal and animal protein supplements and recent research in our laboratory indicates that salmonids have a relatively low tolerance for carbohydrate.

Lipid–Fat Requirements

Fat or lipids contain about twice as much energy per unit weight as do proteins and nearly 3 times as much as carbohydrates. In nature, lipid is the major source of energy for fish such as salmonids and it is also important in cell membrane formation and function in these animals. The quality and quantity of lipids in salmonid diets, is therefore very critical and has received considerable attention. The basic unit of lipids is the fatty acid which is an acyclic carbon chain and is usually unbranched. The number of double bonds between adjacent carbon atoms determines its degree of unsaturation and along with the number

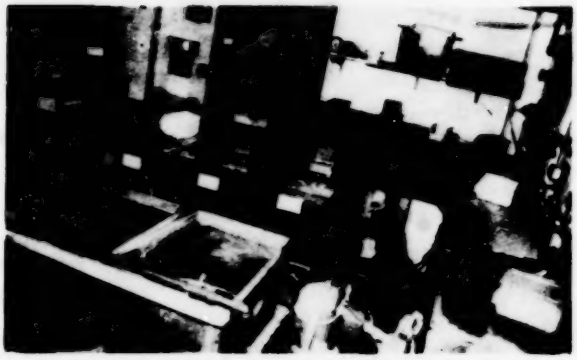

Fig. 1. Overhead photograph of a fish laboratory in the Fish Nutrition Laboratory in the Department of Nutrition at the University of Guelph (Photo courtesy of C.Y. Cho OMNR).

of carbon atoms, position of the double bonds is used in the identification and nomenclature of different fatty acid groups. The position of the first double bond in terms of the number of carbon atoms from the methyl (CH_3) end of the carbon chain denotes a particular type of unsaturated fatty acid. There are four major series of fatty acids important in fish nutrition and physiology: the palmitoleic type with 16 carbon atoms and a single double bond 7 carbons from the methyl group, 16:1 omega 7 (16:1ω7), the oleic group (ω9) that has 18 carbon atoms and a single double bond 9 carbon atoms from the methyl group (18:1ω9), the linoleic group (ω6) that has 18 carbons with the first of two double bonds being 6 carbon atoms from the methyl group (18:2ω6), and the linolenic type (ω3) that is also an 18 carbon acid with the first of its three double bonds being three carbon atoms from the methyl end group (18:3ω3). Animals, including fish, are unable to synthesize ω6 and ω3 fatty acids and these, therefore, must be supplied in the diet. Consideration must then be given not only to the level of lipid in the fish diet, in order to supply sufficient energy, but also to the quantity of ω6 and ω3 fatty acid present in the lipid and the diet.

Level of Dietary Lipid

Practical trout diets normally contain between 6 and 14% of crude fat. Diets are usually supplemented with animal, marine or vegetable fats, or some mixture of these, to supply an adequate level of energy and the required concentration of ω3 and ω6 fatty acids. Recent research has indicated that higher dietary fat levels, in the range of 15–20% may be beneficial to trout, due to the protein sparing effect of fat. These studies indicated that high fat levels increased the protein deposition in trout on certain diets. Such high fat diets reduced the minimum protein requirement from 40 to 35% of the air-dry diet; that may provide some economic advantage. High fat diets have been avoided in the past due to difficulty in pelleting and crumbling the diets and to the possibility of oxidation of the polyunsaturated fatty acids (PUFAs) leading to oxidative rancidity with resultant

destruction of certain vitamins. Fish fed higher levels of fat will contain higher levels of carcass fat, particularly in the visceral cavity. This may be an advantage in producing fish for release in fisheries management which take considerable time to adapt to a new environment, but it may be an undesirable quality in commercial table fish. Further research in this area is needed in the future. One might anticipate that the high fat fish may be more subject to the development of rancidity in storage, particularly if fish oil were used as the supplementary fat.

Quality of Fat

As mentioned in the introduction, ω3 and ω6 fatty acids are not synthesized by the fish and must be supplied in the diet. As a result of this, such fatty acids are called "essential fatty acids." At least 1% of the trout diet must be of the ω3 fatty acid series to maintain optimum growth rates. Although ω6 fatty acids may well be essential, their requirement level is unknown and evidence indicates that a high proportion of ω6 fatty acids in relation to ω3 fatty acids in a trout diet may in fact be detrimental to the growth of the fish. Insufficient levels of ω3 fatty acids in the trout diet result in the development of essential fatty acid deficiency.

Despite an apparently adequate level of 18:3ω3 or linolenic acid in vegetable oils such as soybean or canola oils, marine oils generally give a significantly improved growth rate in practical trout diets. The reason for such improved growth rates in trout reared on diets supplemented with marine oils is probably related to the higher levels of highly polyunsaturated fatty acids (HUFAs) of the ω3 series in these oils, particularly the fatty acids docosapentaenoic (20:5ω3) and docosahexaenoic (22:6ω3). It is the HUFAs which are structurally most important in the physiological membranes of fish. Therefore, even though a fish can convert linolenic acid to HUFAs, it appears that the conversion does not take place at a sufficiently rapid rate for optimum growth. Marine oils also contain considerably lower levels of ω6 fatty acids than do vegetable oils. A high concentration of ω6 fatty acids may competitively inhibit the conversion of linolenic acid (ω3) to HUFAs and therefore reduce the ability of the trout to grow at an optimum rate. Further research in this area is required and is continuing in the Fish Nutrition Laboratory at Guelph. For example, it seems possible that fish oils contain an unidentified factor(s), required by salmonids which is not present in animal or vegetable fats.

Carbohydrate

The level of carbohydrate which can be tolerated in the salmonid diet is a topic of considerable controversy. Feed formulations for other domestic animals commonly contain high levels of cereal grains which are high in carbohydrates and which are relatively inexpensive. It would obviously be desirable to use these ingredients which serve as inexpensive sources of energy, supplied mainly by starch, in diets for salmonids. However, the natural diet of salmonids contains little carbohydrate. While the basic pathways of carbohydrate metabolism in fish are similar to those in other animals, there appear to be some important differences affecting the utilization of dietary carbohydrates.

Different studies have indicated that a carbohydrate level as high as 25% of the diet may be used efficiently by salmonids while others have reported a tolerable level as low as 12% of the diet as digestible carbohydrate. The reason for such divergent results may be due to a number of factors such as species of fish, age and size of fish, water temperature, and probably the form of carbohydrate used. The main carbohydrate found in cereal grains is starch. The digestibility of starch by salmonids is poor and while cooking or heating will improve its digestibility, the ability of the fish to use glucose, the end product of starch digestion, is still limited. Also, recent research has indicated that the processing method affects the availability of starch in that extrusion processing (as used in making expanded or floating pellets) significantly increases the availability of carbohydrate in

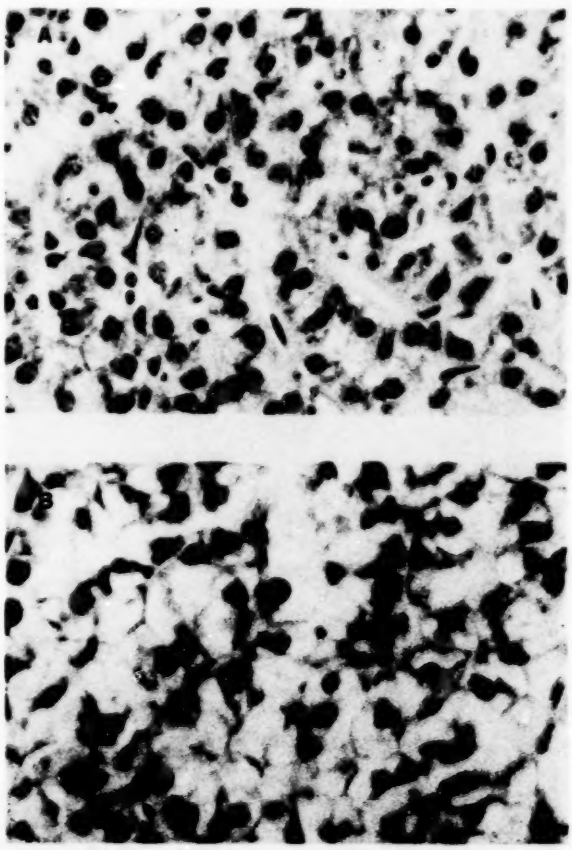

Fig. 2. A high (>20%) or excess dietary carbohydrate results in enlarged livers with glycogen filled vacuoles in the hepatocytes as shown in B as compared with normal livers, A (Photo courtesy of B. Hicks).

trout diets, producing larger livers and high liver glycogen levels, as compared with trout reared on the same diets processed by regular steam pelleting (sinking pellets). Excessive amounts of carbohydrate in the salmonid diet are dangerous, producing an abnormally high glycogen content of the liver, depressed growth and increased mortalities, especially at low water temperature.

Oral glucose tolerance tests in trout have indicated a poor ability of this fish to handle large amounts of glucose. Insulin release mechanisms in the trout do not respond to high glucose influx and therefore metabolism of the glucose and transport of glucose into cells is retarded. There is also a lack of glucose-phosphorylating capacity, a necessary step in glucose metabolism. Further research in this area in terms of possible potentiation of glucose phosphorylation and of insulin release and response in salmonids could be very helpful in the future to stimulate increased use of carbohydrates in salmonid diets. More information is also needed on the possible adaptation to starch with increasing age of the fish. It is suggested that carbohydrate should not exceed 20% of the diet at this time and that sufficient energy should be supplied as fat until more work has been done on the tolerance to dietary starch in practical feed formulas for salmonids. Salmonids are quite adept at gluconeogenesis or the synthesis of glucose from amino acids so that there is no danger of a shortage of glucose for the tissues which are dependent on this compound as a source of energy.

Vitamin Requirements

It has been known for some 40 yr that certain "accessory food factors" or vitamins must be supplied in trout diets. Studies to quantitate these requirements were initiated in 1947 at the University of Wisconsin. The establishment of the requirement levels for vitamins, has usually involved the use of a semipurified test diet which presumably supplies all of the essential nutrients at optimum levels. Such test diets have been developed and are used in fish nutrition research, but at this time these diets do not permit as rapid a growth rate as practical trout diets when compared under the same conditions. Also, requirement levels have been based to a large extent on liver storage of a particular vitamin. Therefore, although figures are available for the requirement levels of nearly all the vitamins for salmonids, additional studies are required to further evaluate these estimates of the requirements using improved semipurified diets, and particularly, practical diets. In assessing the requirement of a particular vitamin it is necessary to use one or more of the following parameters: weight gain, feed efficiency, mortality, absence

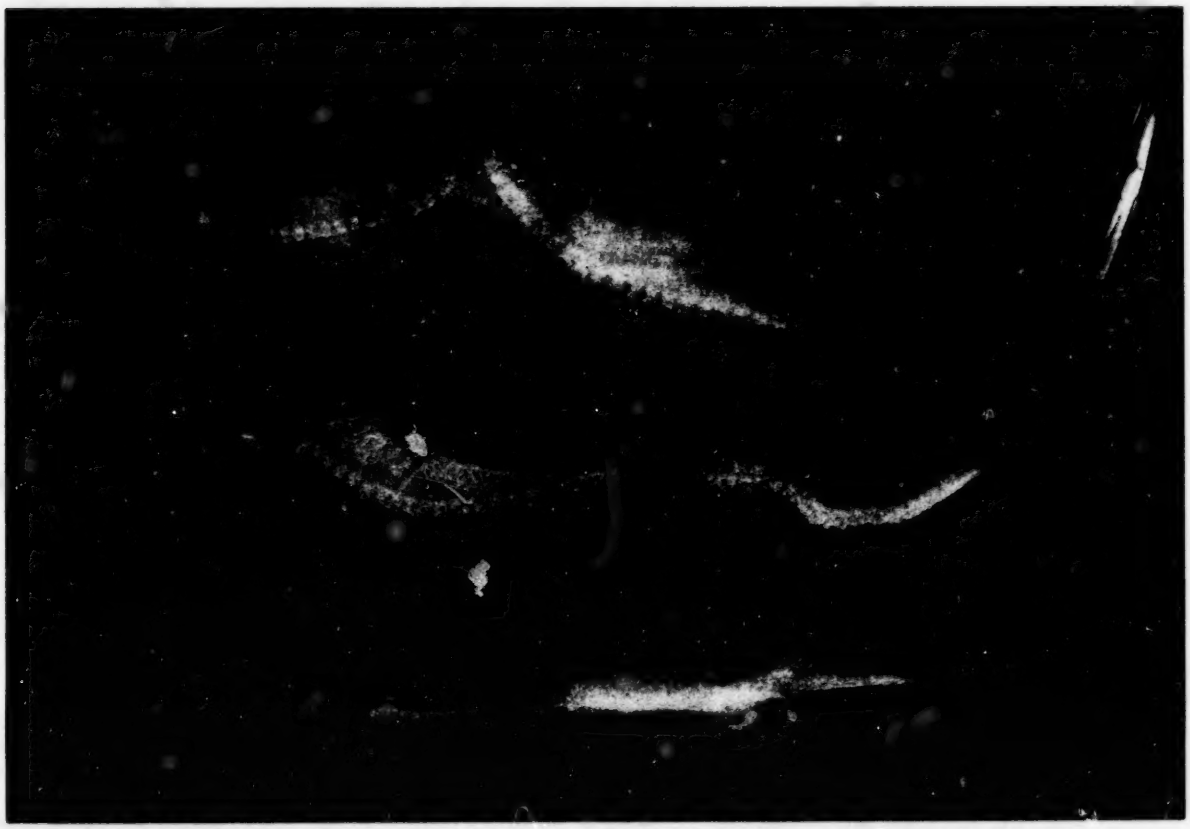

Fig. 3. Ascorbic acid deficiency in rainbow trout results in bone deformities (scoliosis and lordosis) as shown in this X-ray of ascorbic acid deficient trout (Photo courtesy of B. Hicks).

of deficiency symptoms, vitamin storage levels, and more recently physiological parameters such as blood analysis (hemoglobin level, hematocrit value, red blood cell count), carcass moisture, protein and lipid content and vitamin-specific enzyme activities. Recent studies on the vitamin requirements of fish, which have employed physiological parameters, particularly enzyme activities, have indicated a different requirement than previous studies. This is further evidence of the need to reevaluate the vitamin requirements determined earlier.

The presently accepted vitamin requirements for salmonids are listed in Table 2, along with the most common overt deficiency symptoms. The requirement values are expressed as milligrams per kilogram of feed for ease in interpretation by the feed manufacturer and consumer. These values are for young or very young fish. It is assumed that as the fish grows, its vitamin requirements probably decline and therefore these requirement levels should be more than adequate for adult fish. However, very few studies on the vitamin requirements for adult fish and particularly brood stock have been conducted. This represents an important area of research for the future.

Recent research has shown that ascorbic acid is very unstable in practical and test diets. Factors which may affect the stability of ascorbic acid are moisture content of the diet, processing method, storage conditions, and possibly the feed ingredients. Leaching losses of ascorbic acid and other water-soluble vitamins can also be significant. Therefore, supplemental levels in excess of the recommended allowances for certain vitamins are necessary to overcome such potential losses. The diets which are probably at greatest risk from leaching losses are starter diets, due to their larger surface area and the accessibility of the water-soluble vitamins to the water environment. The problem is also exacerbated by low water temperatures in which the fish are relatively inactive, so that the small feed particles remain in the water for longer periods than at higher temperatures. It is therefore important to supply much of the B vitamin requirements for starter diets from natural ingredients such as dried brewers yeast, in which the vitamins are in conjugated form and much less soluble than the synthetic vitamins.

Mineral Requirements

Until recently, very little research on the mineral requirements of fish had been conducted and as a result information is lacking in this area. The paucity of information is in part due to the difficulty in conducting experiments in that the water environment contains different concentrations of various minerals. It appears that at least for some elements, the fish

Table 2. Vitamin requirements and deficiency symptoms in salmonids[a].

Vitamin	Requirement (mg/kg of air dry feed)	Deficiency symptoms
Water-soluble		
Thiamine	10	Convulsions, neuritis
Riboflavin	20	Cataracts, anemia, dark coloration
Niacin	150	Swollen gills, intestinal lesions, poor coordination, anemia
Pantothenic acid	40	Clubbed gills, anemia, sluggish behavior, prostration
Pyridoxine	10	Anemia, hyperirritability, fits, erratic swimming
Cobalamine (B_{12})	0.02	Anemia, fragmented and immature erythrocytes
Folic acid	5	Anemia, fragility of caudal fin, lethargy, pale gills
Biotin	1	Anorexia, pale gills, high glycogen in liver, colonic lesions
Ascorbic acid	100	Spinal deformities, anemia, lethargy, prostration
Inositol	400	Anorexia, poor growth, poor feed efficiency
Choline	3000	Hemorrhages, fatty livers, colonic lesions, poor growth
Oil-soluble		
Vitamin A	2000 I.U./kg feed	Cataracts, photophobia, anemia, dim vision
Vitamin D_3	3000 I.U./kg feed	Lethargy, tetany-like contractions, increased lipid content of liver, muscle, carcass, droopy tails
Vitamin K	80	Hemorrhages, pale gills, increased prothrombin time
Vitamin E	30 I.U./kg feed	Anemia, exudative diathesis, dermal depigmentation and epicarditis

[a]Most vitamin requirements taken from the National Research Council (1973).

can readily absorb the minerals across its gill membrane. Therefore, not only is it difficult to quantitate the exact mineral requirement, but it is difficult to produce an overt mineral deficiency in the fish for some elements. However, despite these problems it is obvious from several studies that there are definite benefits from adding mineral supplements to diets and therefore quantitation of mineral requirements is possible.

Typical deficiency symptoms and requirement levels of some minerals are listed in Table 3. No information is available at this time on the other minerals but research is actively proceeding in this area. It is interesting to note that some minerals in the water, such as calcium, are readily absorbed across the gill membranes. Calcium homeostasis can therefore be maintained in the trout in waters with very low levels of calcium and consequently the dietary calcium requirement is a low 0.2% of the diet. Phosphorus, in contrast, must be supplied in the diet because the level in most water sources is so low. Since phosphorus is the first limiting nutrient in most aquatic systems for plant growth, it is not surprising that the diet is the major source of the mineral for trout. Other than calcium, and perhaps magnesium the mineral elements are probably not found in large enough concentrations in the water to allow their omission from the diet.

TABLE 3. Mineral deficiency symptoms and requirements in salmonids[a].

Mineral	Deficiency symptoms	Requirement (% of diet)
Calcium	Poor growth and feed efficiency, high mortalities	0.2 – 1.0
Phosphorus	Skeletal abnormalities, bone deformities	0.7 – 0.8 (inorganic)
Magnesium	Renal calcinosis	>.006
Iron	Hypochromic, microcytic anemia	N.D.[b]
Zinc	Cataracts, caudal fin erosion	0.0015 – 0.003[c]
Iodine	Thyroid hyperplasia, goiter	0.6 – 1.1[d]
Selenium	Muscular dystrophy, exudative diathesis	0.1 – 0.35[e]

[a]Modified from Lall (1979).
[b]Not determined.
[c]Zinc requirement is greatly increased in high calcium diets.
[d]μg/g of diet.
[e]Poston et al. (1976); Hilton et al. (1980).

Recent research has indicated a direct relationship between dietary calcium and zinc levels in salmonids. Calcium in the diet tends to render the zinc unavailable to the fish. Diets containing high levels of calcium must be supplemented with higher levels of zinc and therefore the interaction between dietary calcium and zinc must be taken into consideration in formulating practical trout diets. Whether or not the calcium content of the water influences the need for zinc, and possibly other essential minerals, remains to be determined.

Very few studies have been carried out on the interaction of minerals in the diet or water with other nutrients in the diet. Recent research has shown that ascorbic acid can readily affect the uptake of water-borne cadmium, copper and iron, and dietary iron and zinc. Again, such interactions must be taken into consideration in trout diet formulation.

More research is necessary on the requirements, functions, and interactions of minerals in the diet and water of the fish. Some of the problems encountered in salmonid hatcheries may in fact be due to mineral imbalances as a result of deficiencies or excesses of these nutrients in the diet or water. Work in our laboratories has shown that even a small excess of phosphorus in the diet will result in overgrowth of algae. Thus it is necessary to avoid excesses of nutrients in fish diets if we are to prevent eutrophication of the water. This probably applies primarily to phosphorus and protein since this mineral and nitrogen are usually the first and second limiting nutrients for plant growth in water.

Effect of Ambient Temperature on Nutrient Requirements

The Standard Environmental Temperature (SET) is defined as the temperature at which maximum growth and feed efficiency are achieved. In rainbow trout this temperature is 15°C whereas in salmon it is 10°C. As indicated in Fig. 6 rainbow trout grow much more slowly at 7°C than at 15°C and trout farming would probably be uneconomical if temperatures were consistently 9°C or less.

The question of using diets with differing composition for fish at different ambient temperatures has been studied in the Fish Nutrition laboratory at University of Guelph. It has been found that the protein requirement as a percentage of the diet was about 40% at temperatures ranging from 7 to 18°C. The fish at the higher temperatures grew much faster and required more total protein; however, they were able to obtain the extra protein needed by consuming more feed as ambient temperature increased so that the diet containing 40% protein was satisfactory throughout this temperature range.

On the other hand, when the level of fat in the diet was increased for fish at low ambient temperatures, they became extremely fat, the fat deposition being greatest in the intestinal cavity. The higher fat levels were better tolerated by the fish at high ambient temperatures since they were much more active, being hyperactive at temperatures above 15°C. The increased requirement for activity appeared to be mainly an increased need for energy. Apparently the fat requirement, as a percentage of the diet, is higher at high ambient temperatures.

Growth of rainbow trout on diets with high levels of available carbohydrate was found to be considerably less at low compared to high ambient temperatures. The percentage liver glycogen and the liver: body weight ratio are increased at lower temperatures on such diets. Since livers high in glycogen appear less able to detoxify certain inorganic and organic compounds, it may well be hazardous to feed diets high in available carbohydrate with the danger being greater at low environmental temperatures. This finding has important implications with waters which are polluted with a number of compounds. Further work is necessary before exact dietary carbohydrate tolerances for different ambient temperatures can be stated with certainty.

A good deal of research is still required concerning the effect of temperature on the requirements for both macro and micro nutrients in salmonid diets.

Digestibility Measurements in Feedstuffs for Feed Formulation

Although the chemical composition of a particular feedstuff may suggest that it is nutritionally sound for the trout, such information is not completely useful unless it is accompanied by data on digestibility. The digestibility of a feedstuff indicates how readily the nutrients are digested and absorbed by the trout and is expressed as percent. Digestibility methods measure the amount of nutrients lost in the feces and therefore indicate the amount absorbed by the fish. Digestibility measurements are usually conducted for protein, fat, and energy, these being the measurements most useful in feed formulation. The formulation of both experimental and practical trout diets requires a knowledge of the digestibility of the nutrients contained therein. Furthermore, in the determination of nutrient requirements, information on the digestibility of the nutrients is essential. Obviously then, the formulation of least-cost diets for trout requires an extensive knowledge of the chemical composition of the feedstuffs and their digestibilities in the particular species, for effective substitution of different feedstuffs to satisfy the nutrient and economic requirements.

Despite the fact that relatively accurate chemical analyses for the protein, fat, carbohydrate, minerals, and certain vitamins present in most feedstuffs are available and are routinely carried out in nutrition laboratories, there is a lack of information on the digestibility of the nutrients of feedstuffs for trout. Such information is now being compiled by the Department of Nutrition at Guelph.

The digestibility of fat and protein in feedstuffs such as fish meal and soybean meal are usually high (Table 4) while carbohydrates such as raw starch are not efficiently digested.

TABLE 4. Apparent digestion coefficients of some Canadian feedstuffs[a].

	Percent			
Feedstuff	Dry matter	Energy	Fat	Protein
Herring fish meal (70% C.P.)	88	95	90	89
Feather meal (hydrolyzed)	79	75	69	63
Soybean meal (50% C.P.)	70	77	90	96
Wheat middlings	30	41	90	96
Corn, ground	32	38	86	91
Starch (corn)	–3	13	—	—

[a]Cho and Slinger (1977).

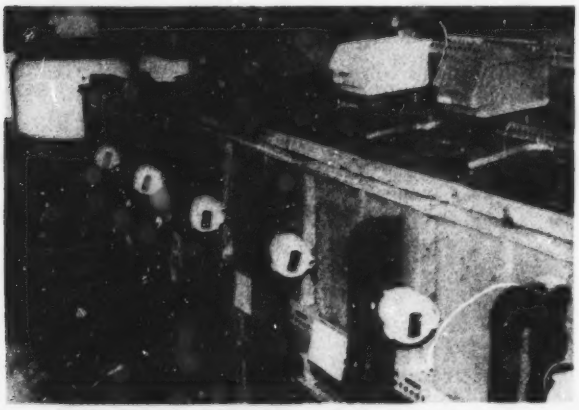

FIG. 4. Digestibility tanks in a fish laboratory in the Fish Nutrition Laboratory in the Department of Nutrition at the University of Guelph (Photo courtesy of C.Y. Cho OMNR).

Determination of the metabolizable energy (ME) content of a feedstuff involves measurement of not only the fecal nutrient losses but also losses of the nitrogenous wastes in the urine and from the gills. Since there are no urinary or gill losses of fat and carbohydrates, these latter losses affect only the protein portion of the diet, i.e. the ME and digestible energy (DE) of the fat and carbohydrate fractions of feed ingredients or mixed feeds are identical. Methods have been developed for quantitative collection of gill and urine losses in rainbow trout so that the ME values of feedstuffs for rainbow trout can be measured. More work is needed to determine the ME of feedstuffs available in Canada before this system can have significant application to trout formulation in this country.

Feed Formulation, Processing, and Quality Control

FEED FORMULATION

The following section outlines the type, quality and quantity of feedstuffs used in the formulation of starter, production, and brood stock trout diets.

Starter Diets (Starter + 1 and 2-Granules)

These diets should contain: not less than 45% crude protein, with a minimum of 45% fish meal, crude fat levels should be between 15–20%, crude fibre not more than 4%, and a moisture content of not greater than 10%. To be fed until the fish reach 1 g in weight or 450 fish/lb.

Production Diets (No. 3, 4, and 5-Granules 3/32", 1/8", and 1/4" Pellets)

Production diets should contain: not less than 40% crude protein, with a minimum of 24% fish meal, a crude fat level of 10–15%, a crude fibre level of not more than 5%, and a moisture content at time of manufacture of not more than 10%.

Brood Stock Diets (1/4" or 1/2" pellets)

Brood stock diets should contain a minimum of 35% crude protein with a fish meal content of not less than 30%, a crude fat level of 10–15% and a crude fibre level of not more than 5%. The moisture content at time of manufacture should not exceed 10%.

A number of modifications of the above are being used by certain growers. For example some growers are having good success by starting their swimup fry on No. 1 granules, rather than using starter for about 1 wk as was the accepted practice. Also, it is difficult and costly for feed manufacturers to make 3/32" pellets and the No. 5 size granule is being substituted in many cases. The 1/4" pellets may be used for older production stock as well as brood stock, there being little advantage in using the 1/2" pellets.

Formulation specifications for salmonid diets

	Percent of diet		
	Starter	Production	Brood stock
A. Fish meal (herring, anchovy, mackerel, capelin) –minimum crude protein 65% –stabilized with ethoxyquin –maximum fat level 12% –maximum moisture 10% –maximum salt level not to exceed 3% –maximum ash 15%	45–50	25–35	30–35
B. Wheat middlings –minimum crude protein 16% –maximum crude fibre 9.5%	0–15	10–30	15–35
C. Wheat gluten meal — min. crude protein 80%	0–3	0–2	0–1
D. Soybean meal — min. crude protein 48%	5–10	5–15	5–20
E. Corn gluten meal — min. crude protein 60%	0–10	0–10	0–10
F. Dehydrated alfalfa meal – min. crude protein 17% – max. crude fibre 27%	—	0–3	0–5
G. Dried whey – min. crude protein 13% – partially delactosed	0–5	0–3	0–5
H. Yeast, dried brewers, 45% crude protein	0–5	0–5	0–5
I. Corn distillers dried solubles, min. crude protein 27%	0–10	0–10	0–10
J. Animal by-product meals			
–Hydrolyzed feather meal, min. crude protein 85%	0–5	0–7	0–7
–Poultry by-product meal, min. crude protein 60%	0–5	0–7	0–7
–Blood meal, ring dried or spray dried, min. crude protein 80%	0–5	0–7	0–7
–Meat meal, min. crude protein 50%	0–5	0–7	0–7
K. Fat supplement			
–Marine oil (salmon, capelin, herring, mackerel etc.)	5–15	5–15	5–15
–Vegetable oil (soybean oil, canola oil)	0–5	0–8	0–5
–Animal fat and grease, all oils and fats to be stabilized	0–5	0–5	0–5
L. Vitamin premix	2–4	2–4	2–4
M. Mineral premix	2–4	2–4	2–4

The starter, production, and maintenance diets are a mixture of animal, vegetable, and marine (fish) products. As stated in the introduction, it is the goal of fish nutritionists to produce least cost formulae that would maintain optimum production economics at any given time. Presently, a significant proportion of the diet has to be fish meal to maintain optimum growth and economic feed utilization. Further research in practical feed formulation will hopefully permit elimination of the need for much of the fish products in the future, if it is economically sound to do so. Binding agents such as lignosol can be used in such diets; however, research at Guelph has shown that wheat middlings and wheat gluten meal are not only excellent binding agents but also contribute nutrients to the diet. It is common practice to supplement trout feed formulations with vitamin and mineral premixes. Although some vitamins and minerals are supplied in the diet ingredients themselves, supplements of these micronutrients should be added to ensure optimum levels of all vitamins and minerals. Certain vitamins such as ascorbic acid are heat-labile and are destroyed during processing and storage, as well as being lost by leaching into the water during feeding. Such vitamins are included in the diets (Table 5) in sufficient excess to take care of usually expected losses.

TABLE 5. Diets for salmonids — University of Guelph formulas.[a]

Ingredients	International Feed No.	Starter	Grower	Brood stock
		Amount in diet (kg/100 kg)		
Fish meal, herring (70% C.P.)	5-20-968	44	24	34
Feather meal, hydrolyzed (85% C.P.)	5-03-795	5	5	5
Poultry by-products meal (58% C.P.)	5-03-798	5	7	6
Soybean meal (49% C.P.)	5-20-638	8	10	8
Corn gluten meal (60% C.P.)	5-09-318	7	9	7
Yeast, brewers dried (45% C.P.)	7-05-527	5	5	5
Alfalfa meal, dehy. (17% C.P.)	1-00-023	–	–	4
Wheat middlings (18% C.P.)	4-05-205	10	27.6	21
Wheat gluten meal (80% C.P.)		3	–	–
Vitamin premix		2	2	2
Mineral premix		1	1	1
Herring or salmon oil (unfortified with vitamin A and D and stabilized)[b].		10	8	8

[a] University of Guelph diets (GRT) formulas (1980).
[b] A recommended antioxidant mixture for oil stabilization is one containing B.H.T. 20%, B.H.A. 20%, monoglyceride citrate 10% and a vegetable oil carrier 50%, added to the oil at the rate of 0.05%. This mixture could be replaced by liquid ethoxyquin at the rate of 0.05% in the oil.

PROCESSING

A dry diet for salmonids must be pelleted or crumbled to permit sufficient feed intake and to prevent fouling of the water. With improper processing, the use of high quality feedstuffs in trout diet formulations would be negated. Despite this, adequate concern and interest in the processing of trout diets in terms of the effects on the diets and on the trout has been lacking. The methods used are those that have been used in the domestic animal feed industry

Vitamin and Mineral Premixes for Salmonid Diets[a]

Vitamin premix:	***(g)***
Vitamin A (1000 I.U./g) (acetate or palmitate)	800.0
Vitamin D_3 (1000 I.U./g)	50.0
Vitamin E (1000 I.U./g) (dl-alpha-tocopheryl acetate)	15.0
Vitamin K (menadione sodium bisulfite)	2.7
Thiamin HCl	5.0
Riboflavin	4.0
D-calcium pantothenate	15.0
Biotin	0.05
Folic acid	1.0
Choline chloride (50%)[b]	400.0
Vitamin B_{12} (0.1%)	3.0
Niacin	25.0
Pyridoxine HCl	3.0
Ascorbic acid$_b$	40.0
Ethoxyquin	8.0
DL-Methionine	200.0
Wheat middlings to make to 2 kg	+
Total (g)	2000.0
Mineral premix:	
Iodized salt (99% NaCl, 0.015% I)	300.0
Potassium iodide (KI) (76% I)	1.0
Manganous sulfate ($MnSO_4 \cdot H_2O$) (25% Mn)	35.0
Ferrous sulfate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) (21% Fe)	30.0
Copper sulfate ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) (25% Cu)	10.0
Zinc sulfate ($ZnSO_4 \cdot H_2O$) (36% Zn)	40.0
Wheat middlings to make to 1 kg	+
Total (g)	1000.0

[a] Further dilution should be made before incorporation into the diet.
[b] Should add to diet as separate premixes.

but processing diets for fish is more exacting. One of the major problems is the production of feeds with a high level of fine particles or "fines." It is difficult to produce a durable pellet or crumble with fish feeds because of the high levels of oil or fat they contain. A number of factors must be taken into consideration when trout diets are being mixed and processed. Some of the physical variables such as the steam pressure and temperature of processing, drying time and temperature, and moisture content of the diet both during and after processing can affect the nutrient levels in a diet. It is possible to affect the availability of carbohydrates and proteins to the trout by processing as well as causing the destruction of certain vitamins.

The following are some of the more important considerations in manufacturing trout feeds:

General Considerations

The starter crumbles are exceedingly small in size and therefore fine grinding of the ingredients is necessary to make a homogeneous mix.

All ingredients should be thoroughly mixed and pulverized in a hammer mill. For all feeds 100% of the ingredients should pass through a Canadian standard sieve size 45 mesh = 354 μm or 0.354 mm diameter (1 mm = 1000 μm).

Pelleting — The feed mixture should be processed into pellets using live, dry steam to produce the proper textured pellets. The pellets must be soft enough for the fish to consume and retain, yet firm enough to hold together with a minimum of fines produced in handling and transportation. It may be necessary with some formulations to include a pellet binding agent.

Standard Pellet Sizes

2.35 mm (3/32") long × 2.35 mm (3/32") diameter
3.1 mm (1/8") long × 3.1 mm (1/8") diameter
4.7 mm (3/16") long × 4.7 mm (3/16") diameter
6.25 mm (1/4") long × 6.25 mm (1/4") diameter

Crumbles or Granules

Crumbles or granules (see Table 6 for sizes) are made by crushing pellets and then screening out the granules to the desired sizes. Starter and No. 1 and No. 2 crumbles should be cracked from 2.35 or 3.1 mm pellets. No. 3 and No. 4 crumbles, should be cracked from 3.1 mm pellets.

The finished feed should be sized and contain not more than 15% oversize and/or undersize granules. The "fines" should be recirculated continuously so as to cause a minimum of alteration in feed formulation from that intended. "Fines" from one feed should never be added to a different sized feed. "Fines" content (defined as the particles passing through 420-μm screen) should not exceed 3% of any feed at the manufacturers plant.

When adding oil or fat to feed, include no more than 3% of the supplementary fat at the time of mixing and spray the remainder on the crumbles or pellets after manufacture.

The pellets and crumbles should not be bagged or loaded for bulk delivery until cooled to just above ambient air temperature and dried to a moisture content of 10% or less.

Tags on bags should be printed to show crumble No. or pellet size, diet identification and date of manufacture. Color coded tags help prevent errors in feeding.

Types of Processing

Floating pellets — extrusion processing — Steam at high pressure (5–7 kg/cm²) is injected into the feed and the moisture content of the feed rises to approximately 20% (v/w). At this time a sudden release of pressure results in the entrapment of air pockets in the vegetable components of the diet. The pellets are then dried by passing the feed on a belt over a heater or gas jets at 121°C. The extruded or expanded pellets produced are very light and float readily on the water surface. Trout, which are primarily sight and surface feeders, appear to prefer such floating pellets. The obvious advantage to such pellets is that with hand-feeding operations, overfeeding of fish is avoided. Also, the extruded pellet is very durable and breakage of pellets with production of fines and consequent wastage are considerably reduced. The high temperatures used in this processing method (135–155°C) appear to increase the availability of the carbohydrate components of the diet thus increasing the liver glycogen content and the liver:body weight ratio. Also, feeds in granular form or as very small pellets cannot be made to float. Experiments at Guelph indicate that extruded feed decreases rate of growth but improves feed efficiency as compared with regular steam pellets. Liver function tests suggest that the ability of the liver to detoxify certain inorganic and organic compounds is reduced by extrusion processing.

TABLE 6. Standard granule sizes.

Granule size		Canadian standard sieve[a] Opening	No.
Starter	To pass over	420 μm	40
	To pass through	595 μm	30
No. 1 granule	To pass over	595 μm	30
	To pass through	841 μm	20
No. 2 granule	To pass over	841 μm	20
	To pass through	1.19 mm	16
No. 3 granule	To pass over	1.19 mm	16
	To pass through	1.68 mm	12
No. 4 granule	To pass over	1.68 mm	12
	To pass through	2.38 mm	8
No. 5 granule	To pass over	2.38 mm	8
	To pass through	3.36 mm	6

[a] United States standard sieve sizes are the same.

Steam pelleting — Most fish feeds are processed by this method at the present time. In this type of processing, steam at a pressure of about 0.5–3.5 kg/cm^2 is introduced into the conditioning chamber where it is mixed with the feed to raise the temperature to 70–80°C, and the moisture content to about 15% (v/w). The feed remains in the conditioning chamber for about 5–6 s before being extruded through the die. Dies are available in various sizes. This type of pellet will sink readily when feeding, so that there is a danger of over-feeding. However, experienced feeders provide feed "to appetite" or only when the fish are actively feeding so as to prevent excessive wastage. Excessive wastage, aside from economical considerations, can lead to an increase in bacteria and a rise in the biological oxygen demand (BOD) with possible harmful effects to the health of the fish.

Cold pelleting — This type of processing is not commonly used in commercial feed production but is occasionally used in fish nutrition research. The steam pressure and temperature are drastically reduced in such processing; however, the moisture content is raised to 20% (v/w). The durability of cold pellets is poorer than that of steam or extruded pellets and therefore wastage is greatly increased.

Moist pellets — These pellets contain variable amounts of either fresh or frozen, mashed, uncooked fish meal together with some dry ingredients. The diet is processed in a manner similar to the cold pelleting processing method and the moisture content of the diet is approximately 50% (v/w). The pellets produced must be kept frozen until required for feeding. Improper storage and handling of such diets can severely jeopardize the stability of certain vitamins and fats as well as increase bacterial contamination. Although it appears that trout respond favorably to such diets, the disadvantage of having to keep such diets refrigerated as well as the dangers of bacterial contamination and possible introduction of fish diseases tend to limit their use for rainbow trout.

Quality Control of Feeds and Feed Ingredients

The following provides a guideline to be followed by fish feed manufacturers in regard to quality control of fish diets. Such specifications should be strictly observed to ensure optimum dietary quality of the feeds and to prevent serious consequences such as fish kills with poor quality feedstuffs and processing.

1) Quality Control of Feeding Oils for Fish

1) Peroxide value (P.V.) < 10 m.eq. peroxide/kg
2) Thiobarbituric acid value (T.B.A.) < 70 mg of malonaldehyde/kg
3) Free from suspended solids that might plug sprayer
4) Should be low in moisture < 1.0% moisture + volatiles
5) Should be low in nitrogen — less than 1%
6) Fatty acid profile should indicate a high $\omega 3/\omega 6$ fatty acid ratio (best oils from fish caught in the spring, poorest in the fall)
7) Free from cyclopropenoid fatty acids, erucic acid, and no more than 1 mg·L^{-1} chlorinated hydrocarbons.
8) Should be stabilized with liquid antioxidant or mixture thereof — 500 mg/kg. A suitable fish oil when deaerated and mixed with an antioxidant by bubbling N gas will remain stable for as much as one year by storage under nitrogen or in air-tight containers.

2) Quality Control of Fish Meals

1) Should be stabilized with liquid ethoxyquin at manufacturer's plant — 200 mg/kg
2) Stored at manufacturer's plant for no more than 3 mo
3) Minimum crude protein 68% for starter, 65% for other diets.
4) Pepsin digestibility not less than 92.5%
5) Ammonia-N less than 0.2%
6) Minimum crude fat 8% (suggested maximum 11%)
7) Maximum sodium chloride content 3%. Maximum total ash 15%.
8) Chlorinated hydrocarbons maximum 0.1 mg·L^{-1}
9) Must be finely ground (350 μm or less). Applies to all ingredients. Starter crumbles must pass through 595-μm screen and over 420 μm
10) Free from mold — not caked or heated

3) Quality Control (mixed diets)

1) Moisture — not more than 10% when made
2) Crude protein — minimum guarantee needed on feed tag
3) Crude fat — maximum guarantee needed on feed tag

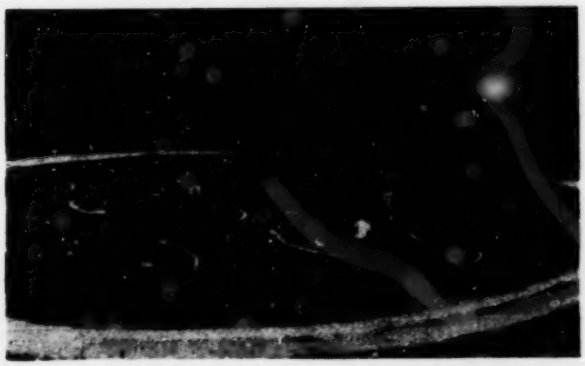

FIG. 5. The Normandale Fish Hatchery, Ontario Ministry of Natural Resources, Turkey Point Ontario (Photo courtesy of C.Y. Cho OMNR).

4) Crude fiber — maximum guarantee needed on feed tag
5) Total ash — calcium, phosphorus, salt, mangnesium
6) Trace minerals — iodine, maganese, zinc, copper, iron
7) Amino acid profile
8) Fatty acid profile of ether extract — measures of peroxidation of fat
9) Tests for heavy metals, chlorinated hydrocarbons
10) Assays for ascorbic acid, vitamin E, biotin, vitamin A, etc.
11) Date of manufacture should be placed on bag

Feeding Practice — Feeding Rates

Feeding Practice

Evidence indicates that the most appropriate time to initiate exogenous feeding of hatchery rainbow trout is when the yolk reserves have been completely absorbed, keeping in mind that a considerable quantity of yolk may yet remain in the abdominal cavity after the externally visible yolk has disappeared. The onset of feeding appears to be in synchrony with the histogenesis of the oropharyngeal mucosa, notably the mucous cells and taste buds. These studies were made at an ambient water temperature of 10°C and the failure of fish to feed by day 37 appeared to be due to maldevelopment of the oropharyngeal mucosa. Feeding too soon results in pollution of the environment which can be hazardous; however, it is desirable to feed as soon as the first fish swim up. Swimup fry should be fed in slight excess so that feed is visible on the bottom of the raceway or tank.

Feed consumption is markedly affected by ambient temperature, being very low at temperatures below 5°C and gradually increasing to about 18°C. Swimup fry of some salmonid species are reluctant to consume dry feed at very low temperatures and it is sometimes necessary to start the fish on chopped liver which may be gradually replaced by dry feed with time. Very low as well as very high ambient temperatures constitute a considerable stress to the fish.

Another factor affecting feed intake is the energy content of the feed, since fish, like terrestrial animals, attempt to eat to satisfy their energy needs. Feed consumption is readily reduced in polluted water, for example in the presence of heavy algal growth. Other water quality parameters as well as physical factors such as rate of water exchange, type of rearing facility and size, density and physiological state of the fish will influence feed intake. It is important to keep the tanks or raceways clean at all times.

Feeding Rates

The feeding rate of salmonids is commonly expressed as the percentage of body weight fed per day. As shown in Table 7, smaller fish require feed at a greater percentage of their body weight per day as compared with larger fish. These guides also show the marked effect of ambient temperature on feed requirement. Feed as a percentage of body weight for growing fish can vary between 0.5 and 10% depending on numerous factors. Many of the older feeding guides were based on diets containing considerably lower energy levels than present day diets and thus the feeding levels suggested therein are much too high.

Both automatic and hand feeding operations can be successful if the operator is experienced. Frequency of feeding is important, with swimup fry being fed a small amount of feed 20–24 times per day and the frequency gradually being reduced to one to three times per day as the size of the fish increases. Some operators prefer to use a 24-h a day lighting period for the first several days or until the fish are well started on dry feed. Feed particle size, hardness and texture, as well as placement of feed in relation to fish size are important considerations. Very small fish

Table 7. Fish feed guide[a].

Number fish per kilogram	Pellet size	Water temperature°C									
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		% body weight per day									
2600	1	2.9	3.4	3.7	3.9	4.6	4.8	5.2	5.8	6.0	6.4
1300	1	2.8	3.3	3.6	3.8	4.4	4.7	4.9	5.6	5.9	6.1
700	2	2.7	3.0	3.3	3.6	4.1	4.5	4.8	5.1	5.6	5.8
400	2	2.6	2.8	3.0	3.2	3.9	4.0	4.6	4.9	5.0	5.1
200	3	2.3	2.6	2.8	3.0	3.6	3.8	4.3	4.5	4.6	4.7
130	3-4	2.1	2.3	2.5	2.8	3.3	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1
90	4	1.9	2.0	2.1	2.4	2.7	2.9	3.0	3.2	3.6	3.8
40	3/32	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.4	2.6	3.0	3.2
30	3/32	1.5	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.2	2.8	2.9
20	1/8	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.4	2.5
15	1/8	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.3	2.4
10	3/16	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
5	3/16	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
2	1/4	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6

[a]Feeding rates based on a single strain of rainbow trout fed dry diets containing about 3000 kcal digestible energy/kg.

will travel only a short distance for food while large fish may be expected to move freely about the raceway.

Most feeding schedules represent only rough guides as to the amount of feed which should be fed to fish of a given weight or length. Feed manufacturers often change the composition of the formula depending on the economics of the feed ingredient supply situation, thus changing the palatability of the feed. Furthermore, where schedules have been worked out experimentally for a particular feed, it has usually been under fairly ideal conditions and using rainbow trout, and thus would not apply to other salmonids reared under different conditions. Operators should have a knowledge of a satisfactory growth rate and feed efficiency for a given ambient temperature for their strain and species of fish and follow a feeding schedule to match these standards. In the absence of such standards one could obtain gain and feed efficiencies much below the potential of the fish. For example, Fig. 6 shows satisfactory growth curves for a strain of rainbow trout grown at 7, 11, and 15°C. To achieve these growth rates requires that the fish be fed to the point where they are no longer actively eating, at each feeding. This requires that much more time be spent in feeding the fish at the cold ambient temperatures than with the standard environmental temperatures or above. There are times, however, when fish should not be fed to appetite. For example, if the ambient temperature goes up rather rapidly over a period of a few days, there is real danger from suddenly increasing feed intake to the new higher appetite level. In a pond situation, a combination of dull days when there is no photosynthesis, coupled with increased water temperature, which has a lower oxygen holding capacity than cooler water, plus a large biomass of fish, calls for a reduction in feed offered even though the fish might be willing to eat avidly. Overfeeding under such conditions could deplete the dissolved oxygen level to 5 $mg \cdot L^{-1}$ or less for a prolonged period and result in excessive mortality. The dissolved oxygen level of the water should be checked frequently for daily variation and at intervals following feeding and this information should be used in establishing the time, amount and frequency of feeding.

Regardless of appetite, changes in feed intake should always be made gradually over several days. Also, changing from one feed size to the next larger size should be made gradually by mixing the two feeds in various proportions for a few days before the complete changeover. An advantage of floating pellets as compared with steam pellets is that the feeder knows when to stop feeding by the presence of pellets floating on the surface. To keep the appetite keen it is better to slightly underfeed at each feeding than to overfeed, and in the long run this procedure will result in more feed being consumed and higher growth rates.

Most salmonids should be selected for brood stock at 2–3 yr of age. At this time they should be switched to a brood stock diet from the grower or production diet. There is no need to feed brood stock more than once a day and feeding should be stopped when the fish are no longer actively feeding. In cold water hatcheries (5–7°C) best results are achieved by taking the breeders off feed completely at about 4–6 wk before spawning and then gradually bringing them back to full feed over a period of 2–3 wk after spawning. In warmer water (9–12°C) breeders should be fed to within about 2 wk of spawning before feed is withdrawn completely. In this case feed should be reduced gradually over a period of about 3–4 wk before being cut off completely and again the fish should be returned to full feed gradually over a period of about 3 wk following spawning. Overfeeding before spawning reduces reproductive performance.

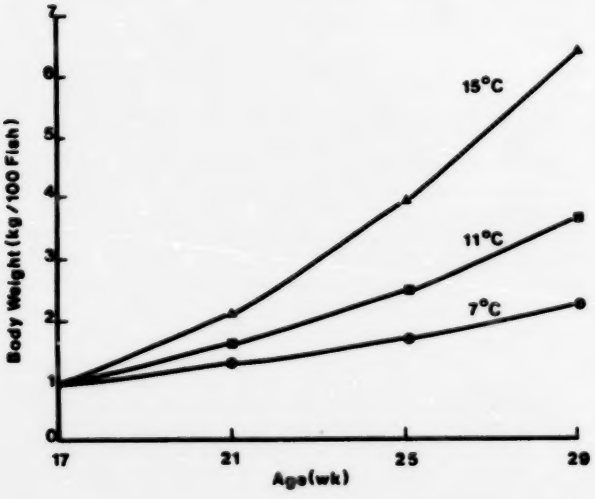

FIG. 6. Rainbow trout growth at three temperatures (Slinger and Cho 1978).

Acknowledgments

We thank Professor C. Young Cho for his constructive criticisms of this special publication and for his cooperation in the research that has gone into the development of the information presented. Gratitude is also expressed to Mr Chris Armstrong, formerly with the Ontario Ministry of Natural Resources and Dr Ian Pritchard, Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, for their long term interest and support in the fish nutrition program at the University of Guelph. The support of Dr H. H. Draper and Dr Keith Ronald, College of Biological Science, University of Guelph, is also greatly appreciated. The financial support of the Ontario Ministry of Agriculture and Food, The Natural Sciences and Engineering Research Council Canada, the Department of Fisheries and Oceans (formerly Fisheries and Marine Service, Department of Environment), and the Ontario Ministry of Natural Resources, Sports Fisheries Branch, with the research program in the Department of Nutrition, is acknowledged with thanks. Gratitude is extended to the Department of Fisheries and Oceans for bearing the costs of publishing this special publication.

Selected Readings

General Textbooks

Bardach, J. E., J. H. Ryther, and W. O. Mclarney. 1972. Aquaculture: The farming and husbandry of freshwater and marine organisms. Wiley-Interscience, New York, London, Sydney, and Toronto. 868 p.

Halver, J. E. [ed.]. 1972. Fish nutrition. Academic Press, New York, NY.

Halver, J. E.., and K. Tiews [ed.]. 1979. Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. I and II. Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany, June 20–23, 1978.

Hoar, W. F., J. R. Randall, and R. Brett [ed.]. 1979. Fish physiology. Academic Press, New York, NY.

Nutrient Requirements

National Research Council. 1968. Recommended dietary allowances (by) National Research Council. 7th ed. Nat. Acad. Sci., Washington, D.C.

1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. 1st ed. Nat. Acad. Sci., Washington, D.C.

1977. Nutrient requirements of warmwater fishes. 1st ed. Nat. Acad. Sci., Washington, D.C.

1978. Nutrient requirements of laboratory animals. (Rat, mouse, gerbil, guinea pig, hamster, vole, fish). 3rd ed. Nat. Acad. Sci., Washington, D.C.

1981. Nutrient requirements of salmonids. Nat. Acad. Sci., Washington, D.C. (In press)

National Research Council, Canada. 19XX. Canadian bulletin on nutrition — Dietary standards for Canada. Queen's Printer, Ottawa, Ont.

General Reviews — Protein Requirements of Finfish

Cowey, C. B. 1975. Aspects of protein utilization by fish. Proc. Nutr. Soc. 34: 57–63.

1979. Protein and amino acid requirements of finfish, p. 3–16. *In* J. E. Halver and K. Tiews [ed.] Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. I. Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

Cowey, C. B., and J. R. Sargent. 1979. Nutrition. p. 1–59. *In* W. F. Hoar, J. R. Randall, and R. Brett [ed.] Fish physiology, Academic Press, New York, NY.

Mertz, E. T. 1969. Amino acid and protein requirements of fish, p. 233–244. *In* O. W. Neuhaus and J. E. Halver [ed.] Fish in research. Academic Press, New York, NY.

1972. The protein and amino acid needs, p. 105–143. *In* J. E. Halver [ed.] Fish nutrition. Academic Press, New York, NY.

Ogino, C. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids. Bull. Jap. Soc. Sci. fish 46(2): 171–174.

General Reviews — Lipid Requirements of Finfish

Castell, J. D. 1979. Review of lipid requirements of finfish, p. 59–84. *In* J. E. Halver and K. Tiews [ed.] Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. I, Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

Cowey, C. B. et al. 1976. Studies on the nutrition of marine flatfish. The effect of different dietary fatty acids on the growth and fatty acid composition of turbot (*Scophthalmus maximus*). Br. J. Nutr. 36: 479–486.

Cowey, C. B., and J. R. Sargent. 1977. Lipid nutrition in fish (Minireview). Comp. Biochem. Physiol. 57B: 269–273.

Sargent, J. R. 1976. The structure and function of lipids in marine organisms, p. 149–212. *In* D. C. Malins and J. R. Sargent [ed.] Biochemical and biophysiological perspectives in marine biology. Academic Press, New York, NY.

Vitamin Requirements

Barnett, B. J., C. Y. Cho, and S. J. Slinger. 1978. The essentiality of cholecalciferol in the diets of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Comp. Biochem. Physiol. 63A: 291–297.

Castledine, A. J., C. Y. Cho, S. J. Slinger, B. Hicks, and H. S. Bayley. 1978. Influence of dietary biotin level on growth, metabolism and pathology of rainbow trout. J. Nutr. 108: 698–711.

Halver, J. E. 1972. The vitamins, p. 30–105. *In* J. E. Halver [ed.] Fish nutrition. Academic Press, New York, NY.

1979. Vitamin requirements of finfish, p. 45–58. *In* J. E. Halver and K. Tiews [ed.] Finfish nutrition and fishfeed technology. Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

Hilton, J. W., C. Y. Cho, and S. J. Slinger. 1977a. Evaluation of the ascorbic acid status of rainbow trout. J. Fish Res. Board Can. 34: 2207–2210.

1977b. Factors affecting the stability of supplemental ascorbic acid in a practical trout diet. J. Fish Res. Board Can. 34: 683–687.

1978a. Effect of hypervitaminosis A on the development of ascorbic acid deficiency in underyearling rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 13: 325–330.

1978b. Effect of graded levels of supplemental ascorbic acid in practical diets fed to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Fish Res. Board Can. 35: 431–436.

John, M. J., and C. L. Mahajan. 1979. The physiological response of fishes to a deficiency of cyanocobalamin and folic acid. J. Fish. Biol. 14: 127–134.

Jurss, K. 1978. The effect of pyridoxine deficiency on aminotransferase activity in liver and white muscle of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) Comp. Biochem. Physiol. 61B: 385–390.

Poston, H. A. 1967. Effect of dietary L-ascorbic acid on immature brook trout. Fish Res. Bull. 30, Cortland Hatchery Rep. No. 35 for the year 1966: 46–51.

1976. Optimum level of dietary biotin for growth, feed utilization, and swimming stamina to fingerling lake trout (*Salvelinus namaycush*). J. Fish Res. Board Can. 33: 1863–1886.

Sato, M. 1978. Dietary ascorbic acid requirement of rainbow trout for growth and collagen formation. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 44: 1029–1035.

Woodall, A. N., L. M. Ashley, J. E. Halver, H. S. Olcott, and J. Van Der Veen. 1964. Nutrition of salmonoid fishes. XII. The α-tocopherol requirements of chinook salmon. J. Nutr. 84: 125–135.

Carbohydrates

Austreng, E., S. Risa, D. J. Edwardo, and H. Hoidsten. 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets. II. Influence of carbohydrate levels on chemical composition and feed utilization of fish from different families. Aquaculture 11: 39–50.

Bergot, F. 1979. Problems particuliers poses par l'utilisation des glucides chez la truite arc-en-ciel. Ann. Nutr. Aliment. 33: 247–257.

1979. Carbohydrate in rainbow trout diets:effects of level and source of carbohydrate and number of meals on growth and body composition. Aquaculture 18: 157–168.

COWEY, C. B., M. DE LA HIGUERA, AND J. W. ADRON. 1977a. The effect of dietary composition and of insulin on gluconeogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Br. J. Nutr. 38: 385–395.

COWEY, C. B., D. KNOX, M. J. WALTON, AND J. W. ADRON. 1977b. The regulation of gluconeogenesis by diet and insulin in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Br. J. Nutr. 38: 463–470.

EDWARDO, D. J., E. AUSTRENG, S. RISA, AND T. GJEDREM. 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets 1. Growth of fish of different families fed diets containing different proportions of carbohydrate. Aquaculture 11: 31–38.

PIEPER, A., AND E. PFEFFER. 1979. Carbohydrates as possible sources of dietary energy for rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson), p. 209–220. *In* J. E. Halver and K. Tiews [ed.] Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. I. Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

SHIMENO, S., H. HOSOKAWA, AND M. TAKEDA. 1979. The importance of carbohydrate in the diet of a carnivorous fish, p. 127–137. *In* J. E. Halver and K. Tiews [ed.] Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. I. *In* J. E. Halver and K. Tiews [ed.] Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

MINERALS

COWEY, C. B. 1977. The production of renal calcinosis by magnesium deficiency in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Br. J. Nutr. 38: 127–135.

HILTON, J. W., P. V. HODSON, AND S. J. SLINGER. 1980. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr. 110: 2527–2535.*

KAWATSU, H. 1972. Studies on the anemia of fish-V. Dietary iron deficient anemia in brook trout, *Salvelinus fontinalis*. Bull. Fresh. Fish. Res. Lab. Tokyo 22: 59–67.

KETOLA, H. G. 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus. Trans. Am. Fish. Soc. 104: 548–551.

1978. Dietary zinc prevents cataract in trout. Fed. Proc. 37: 584.

1979. Influence of dietary zinc on cataracts in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Nutr. 109: 965–969.

LALL, S.P. 1979. Minerals in finfish nutrition. In J.E. Halver and K. Tiews [ed.] Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. 1. Proc. World Symp. FAO-EIFC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

LALL, S. P., AND F. J. BISHOP. 1977. Studies on mineral and protein utilization by Atlantic salmon grown in sea water. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 688: 17 p.

OGINO, C. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary magnesium. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 44: 1105–1108.

OGINO, AND H. TAKEDA. 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 44: 1019–1022.

OGINO, C., AND G.-Y. YANG. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 44: 1015–1018.

POSTON, H. A., G. F. COMBS JR., AND L. LEIBOVITZ. 1976. Vitamin E and selenium interrelationships in the diet of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): gross, histological and biochemical deficiency signs. J. Nutr. 106: 892–904.

REINITZ, G. L., L. E. ORME, AND F. N. HITZEL. 1978. Phosphorus requirement for rainbow trout. Feedstuffs 50(45): 17.

RUMSEY, G. L. 1977. Fish nutrition — recent advances. Proc. Intl. Symp. on Diseases of Cultured Salmonids, Seattle, Washington, April 4–7, 1977, p. 16–40.

FEED FORMULATION, PROCESSING, STORAGE

CHO, C. Y., AND S. J. SLINGER. 1977. Significance of digestibility measurements in formulation of feeds for rainbow trout. Proc. 13th Annu. Nutr. Conf. for Feed Manuf., Toronto, Can., May 4–6, p. 15–19.

HALVER, J. E. 1976. Formulating practical diets for fish. J. Fish Res. Board Can. 33: 1032–1039.

HALVER, J. E., AND K. TIEWS [ed.]. 1979. Finfish nutrition and finfish technology. Vol. I. A. Finfish nutrient requirements, B. Finfish husbandry feeding techniques. Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

1979. Finfish nutrition and finfish technology Vol. II. C. Feed formulation and technology D. Feed influence on product quality. E. Methodology in fish nutrition and feed technology. Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

HASTINGS, W. H., AND C. B. COWEY. 1977. Fish diets and culture media, p. 279–290. *In* M. Rechsigl Jr. [ed.] CRC handbook series in nutrition and food. Section G. Vol. 2. Diets, culture media and food supplements. Chemical Rubber Company Press, West Palm Beach, Florida.

HILTON, J. W., C. Y. CHO, AND S. J. SLINGER. 1977. Factors affecting the stability of supplemental ascorbic acid in practical trout diets. J. Fish. Res. Board Can. 34: 683–687.

1981. Effect of extrusion processing and steam pelleting on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). Aquaculture (In press)

KAY, W. A., C. Y. CHO, H. S. BAYLEY, AND S. J. SLINGER. 1976. Recent experiments on the formulation of rainbow trout diets. Proc. Nutr. Conf. for Feed Manuf., Toronto, Can., Apr. 21–22, p. 68–73.

SLINGER, S.J., and C.Y. CHO. 1978 Fish farming—research needs and prospects. Highlights of Agricultural Research in Ontario. Ont. Minist. Agric. Food, November: 13–16.

SLINGER, S. J., C. Y. CHO, AND H. S. BAYLEY. 1974. Effect of binding agents in steam-pelleted and extruded diets on fish performance and pellet durability. Proc. 3rd Fish Feed and Nutrition Workshop, Sept. 24–25, Cortland, New York, NY. p. 64–72.

SLINGER, S. J., A. RAZZAQUE, AND C. Y. CHO. 1979. Effect of feed processing and leaching on the losses of certain vitamins in fish diets, p. 425–534. *In* J. E. Halver and K. Tiews [ed.] Finfish nutrition and fishfeed technology. Vol. II, Proc. World Symp. FAO–EIFAC, ICES and IUNS, Hamburg, Germany.

Publication
spéciale canadienne
des sciences halieutiques et aquatiques

alimentation de la truite arc-en-ciel

J.W. Hilton et S.J. Slinger

Publication spéciale canadienne des sciences halieutiques et aquatiques 55F

(Traduction française de la publication spéciale de J. W. Hilton et S. J. Slinger intitulée « *Nutrition and Feeding of Rainbow Trout* » publiée en 1981.)

Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel

J. W. Hilton et S. J. Slinger

Département de nutrition
Collège des sciences biologiques
Université de Guelph
Guelph (Ont.) N1G 2W1

Ministère des Pêches et des Océans
Ottawa 1981

Publié par

Gouvernement du Canada
Pêches et Océans

Direction de l'information
et des publications scientifiques

Published by

Government of Canada
Fisheries and Oceans

Scientific Information
and Publications Branch

Ottawa K1A 0E6

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1981

En vente dans les librairies autorisées, les autres librairies,
ou encore, par commande payable à l'avance,
au Centre d'édition du gouvernement du Canada,
Approvisionnements et Services Canada, Hull (Québec) K1A 0S9.

Les chèques ou mandats-postes, payables en monnaie canadienne,
doivent être faits à l'ordre du Receveur général du Canada.

Un exemplaire de cette publication a été déposé, pour référence,
dans les bibliothèques publiques du Canada

Canada : 3,00 $
Autres pays : 3,60 $

Nº de catalogue Fs 41-31/55 F
ISBN 0-660-90812-3
ISSN 0706-649 X

Prix sujet à changement sans avis préalable

(English edition available)

Imprimé au Canada

par

Donald F. Runge Limitée, Pembroke, Ont

On devra référer comme suit à cette publication :

HILTON, J. W. ET S. J. SLINGER, 1981. Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel, *Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat.*, 55F : 17 p.

Table des matières

Résumé/Abstract iv

Historique de l'aquiculture — Élevage des salmonidés 1

Besoins nutritifs 1

Besoins en protéines 1
—Amino-acides essentiels 1
—Qualité des protéines 1
Besoins en lipides - graisses 2
—Niveaux des lipides alimentaires 3
—Qualité des graisses 3
Hydrates de carbone 3
Besoins en vitamines 4
Besoins en minéraux 5

Effet de la température ambiante sur les besoins nutritifs 7

Mesures de la digestibilité des produits utilisés dans la formulation des rations 7

Formulation, transformation et contrôle de la qualité des rations 8

Formulation des rations 8
Transformation 10
Contrôle de la qualité des rations et de leurs ingrédients 12

Techniques et taux d'alimentation 13

Techniques d'alimentation 13
Taux d'alimentation 14

Remerciements 15

Lectures choisies 16

Résumé

HILTON, J.W. ET S.J. SLINGER, 1981. Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel, *Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat.*, 55F : 17 p.

Le but de cette publication spéciale est de décrire, à l'intention du pisciculteur et du manufacturier de nourriture à poissons, les éléments de base de la nutrition des salmonidés. On y décrit brièvement les exigences et les fonctions des substances nutritives, comme on les connait présentement. On décrit également l'état de nos connaissances sur la formulation des rations destinées aux salmonidés, ainsi que les paramètres de contrôle de la qualité des ingrédients les plus importants qu'elles contiennent. On y souligne que toutes les nourritures à poissons doivent être traitées de façon à donner des particules de grosseur appropriée à des poissons de tailles et d'âges différents. La digestibilité et l'équilibre des substances nutritives sont plus importants pour les poissons que pour les espèces terrestres, car il faut prévenir l'eutrophisation et l'augmentation de la demande biologique d'oxygène dans l'étang ou le canal. On a établi des directives concernant la quantité de nourriture approximative à donner quotidiennement à des poissons de diverses tailles et à diverses températures de l'eau. Comme les poissons sont des animaux poïkilothermes dont la température du corps et, partant, le taux métabolique et l'activité alimentaire varient en fonction directe de la température de l'eau ambiante, les taux d'alimentation et de croissance diminuent notablement lorsque la température passe de 15°C à 4°C. Comparées à celles des animaux domestiques, nos connaissances sur la nutrition des poissons sont encore rudimentaires. Nous donnons quelques suggestions concernant certains travaux de recherche importants sur la nutrition. Cette recherche permettrait de réduire considérablement les coûts de production du poisson.

Mots-clés: Salmo gairdneri, truite arc-en-ciel, nutrition, alimentation

Abstract

HILTON, J.W. ET S.J. SLINGER, 1981. Nutrition et alimentation de la truite arc-en-ciel, *Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat.*, 55F : 17 p.

This special publication is designed to describe to the fish farmer and feed manufacturer the basic elements of salmonid nutrition. Described briefly are the requirements and functions of the nutrients as far as these are known at the present time. The state of the art of feed formulation for salmonids is also described, together with the quality control parameters for the most important ingredients included in salmonid diets. It is pointed out that all fish feeds must be processed to produce feed particles of appropriate size for fish of different ages and sizes. The digestibility and balance of nutrients assumes greater importance in diets for fish than in those for terrestrial species because of the importance of preventing eutrophication and increasing the biological oxygen demand in the fish pond or raceway. Guides have been established indicating the approximate amount of feed to give daily to fish of various sizes and water temperatures. Since fish are poikilotherms whose body temperature, and thus their metabolic rate and feeding activity, varies directly with the ambient water temperature, feeding rates and growth rates are markedly reduced as the temperature decreased from about 15 to 4°C. Our knowledge of fish nutrition is still rudimentary as compared with that of the domestic animals. Suggestions are given concerning important nutrition research projects for the future. Further research in nutrition promises to reduce fish production costs markedly.

Key words: Salmo gairdneri, rainbow trout, nutrition, feeding

Historique de l'aquiculture — Élevage des salmonidés

L'élevage des salmonidés a commencé en 1741, alors que Stephan Ludwig Jacobi établissait en Allemagne le premier alevinier à truites. Depuis ce temps, les pêcheurs à la ligne dépendent de plus en plus des pisciculteurs pour augmenter et maintenir la pêche des salmonidés dans le monde entier. En Ontario, la pisciculture date des années 1800 et, malgré cette introduction ancienne, les méthodes d'élevage des salmonidés n'ont progressé que lentement. Ce n'est qu'au cours des 10 ou 20 dernières années que la recherche et le développement dans l'élevage des truites, avec l'expansion du nombre et de la taille des établissements de pisciculture, ont reçu une certaine impulsion.

La nutrition des poissons, elle aussi, s'est développée lentement. Ce n'est que juste avant la Deuxième Guerre mondiale qu'une recherche active dans ce domaine a commencé. A cette époque, on a étudié pour la première fois, dans une pisciculture de truites et de saumons à Cortland dans l'État de New York, les besoins nutritifs et la formulation des rations de salmonidés sous la direction de pionniers tels que A. V. Tunison et A. M. Phillips. Depuis, des progrès ont été accomplis dans l'étude de la nutrition des poissons, en particulier dans la dernière décennie, par des chercheurs d'Amérique du Nord, d'Europe septentrionale et du Japon.

En Ontario, le coût de la nourriture représente environ 30–50 % du coût de production total de truites. La formulation des rations se fait encore en grande partie par estimation, à cause des nombreuses lacunes dans les connaissances nécessaires à une approche plus scientifique. Malgré cela, on fait très peu de recherche sur les moyens d'améliorer nos connaissances sur la nutrition ainsi que sur la formulation et la transformation des rations. Il est certain qu'on pourrait réduire de façon significative les coûts de production de la truite arc-en-ciel par une recherche judicieuse sur la nutrition, la formulation des rations et la technologie de production de ces rations.

Le présent manuel est un compte rendu de l'état actuel de nos connaissances sur la nutrition des poissons, avec une description des principales substances nutritives requises par les poissons, nommément des protéines, graisses (lipides), hydrates de carbone, vitamines et minéraux. Il vise aussi à faire réaliser par les pisciculteurs l'importance de ces travaux. On y indique non seulement les domaines dans lesquels se poursuit une recherche active, mais aussi les aspects de la nutrition des poissons sur lesquels il n'y a pas eu suffisamment de recherche de faite et où on devrait mettre l'accent à l'avenir.

Besoins nutritifs

Besoins en protéines

Les protéines sont le composant le plus coûteux de la diète des truites. Il est donc désirable d'utiliser les sources de protéines les plus économiques et les plus adéquates possibles. Dans le cas d'espèces animales terrestres, les manufacturiers de rations commerciales font appel surtout à des sources végétales de protéines, parce qu'elles sont adéquates du point de vue nutritif, sont disponibles commercialement et offrent des avantages économiques. Malheureusement, à l'heure actuelle, les sources de protéines végétales ne peuvent être utilisées que de façon limitée dans la formulation des rations des salmonidés, bien que les spécialistes de la nutrition des poissons visent à éliminer complètement le besoin de recourir à des sources de protéines animales, en particulier les farines de poisson, dans les rations des poissons. Il est toutefois peu probable que cet objectif soit atteint dans un proche avenir. Le niveau optimal de protéines alimentaires crues pour de très jeunes truites est de 45–50 % du régime (diètes de départ), alors que les jeunes truites en requièrent 40 % (diètes de production) et les truites âgées, 35 % (diètes de subsistence).

Amino-acides essentiels

La composition chimique des protéines est variable. Les amino-acides en sont la base, et chaque protéine a son complément propre d'amino-acides. Des quelque 25 amino-acides se trouvant dans les protéines, tous peuvent être synthétisés par les poissons sauf 10 qu'on appelle amino-acides essentiels. Le tableau 1 donne une liste des amino-acides essentiels, ainsi que les niveaux requis dans un régime équilibré. Pour qu'une source de protéines convienne au régime des salmonidés, elle doit fournir tous les amino-acides essentiels aux niveaux requis, ou à peu près, et suffisamment d'amino-acides non essentiels pour satisfaire aux besoins totaux en protéines. Non seulement les besoins en amino-acides essentiels doivent être satisfaits, mais le rapport de certains amino-acides essentiels entre eux est également critique.

Qualité des protéines

Les sources ou suppléments de protéines pour nourritures de truites doivent être choisis à cause de leur grande digestibilité et, tel que mentionné plus haut, ils doivent satisfaire aux besoins des poissons en amino-acides essentiels. Des suppléments protéiques tels que farine de poisson de haute qualité, farine de soya, farine de gluten de maïs et divers sous-produits animaux tels que farine de viande, farine de sous-produits de poulet, farine de plume hydrolysée et farine de sang préparée par séchage annulaire ou par séchage particulaire, sont les nourritures à poissons les plus appropriées. On fait présentement des recherches dans le but de remplacer une plus grande

TABLEAU 1. Amino-acides essentiels et niveaux requis dans l'alimentation des salmonidés.

	Niveau requis			
	Truite arc-en-ciel[a]		Saumon[b]	
Arginine	3,5[c]	(1,4)[d]	6	(2,4)
Histidine	1,6	(0,6)	1,8	(0,7)
Isoleucine	2,4	(1,0)	2,2	(0,9)
Leucine	4,4	(1,8)	3,9	(1,6)
Lysine	5,3	(2,1)	5	(2,0)
Méthionine[e]	1,8	(0,7)	4	(1,6)
Cystine	0,9	(0,4)	—	
Phénylalanine[f]	3,1	(1,2)	5,1	(2,1)
Tyrosine	2,1	(0,8)	—	
Thréonine	3,4	(1,4)	2,2	(0,9)
Tryptophane	0,5	(0,2)	0,5	(0,2)
Valine	3,1	(1,2)	3,2	(1,3)

[a] Extrait de Ogino (1980).
[b] Extrait de Halver (1972).
[c] En pourcentage de protéine.
[d] En pourcentage de la ration, en supposant un niveau de protéines alimentaires de 40 %.
[e] En l'absence de cystine chez le saumon.
[f] En l'absence de tyrosine chez le saumon.

proportion de farine de poisson par des farines de protéines végétales et divers suppléments protéiques tirés de sous-produits animaux. Ordinairement (mais pas toujours), une farine de poisson de haute qualité est plus dispendieuse que des suppléments protéiques végétaux. En outre, certaines substances toxiques de l'environnement, tels que métaux lourds et pesticides, peuvent contaminer les farines de poisson. À ce jour, on n'a pu remplacer complètement la farine de poisson et, pour obtenir de bons résultats, il faut encore une quantité considérable d'une farine de poisson de haute qualité. Les rations alimentaires de départ requièrent encore au moins 30 % de farine de poisson, alors que les rations de production et de stocks reproducteurs en demandent environ 20 %. On ne comprend pas très bien le manque de succès obtenu avec des sources de protéines végétales telles que la farine de soya et la farine de gluten de maïs. Il se peut que l'influence d'une farine de poisson de haute qualité sur la croissance soit due à l'équilibre supérieur des amino-acides de cette dernière, à leurs propriétés organoleptiques, à la teneur en hydrates de carbone de la farine de soya et à quelques facteurs de croissance, encore inconnus, présents dans la farine de poisson. Une récente recherche sur des rations de farine de soya additionnée de différents amino-acides à diverses teneurs met en évidence une meilleure croissance chez la truite arc-en-ciel, ce qui laisse supposer que l'équilibre des amino-acides présents dans la farine de soya n'est pas idéal pour la truite. Il existe également dans la farine de poisson des niveaux plus élevés d'un certain nombre d'éléments minéraux essentiels par comparaison avec la farine de soya. En outre, on a récemment démontré que la truite possédait des mécanismes chimio-récepteurs lui permettant de goûter et de sentir la nourriture. Il est possible que certains de ces composés qui se sont avérés capables de stimuler ces sens soient présents dans la farine de poisson mais non dans la farine de soya. Il est également possible que la farine de soya ne soit pas au goût des poissons ; nos résultats expérimentaux semblent le démontrer. En outre, la farine de soya et autres suppléments protéiques végétaux sont beaucoup plus riches en hydrates de carbone que la farine de poisson et les suppléments protéiques animaux. De récents travaux menés dans notre laboratoire indiquent une tolérance relativement basse aux hydrates de carbone chez les salmonidés.

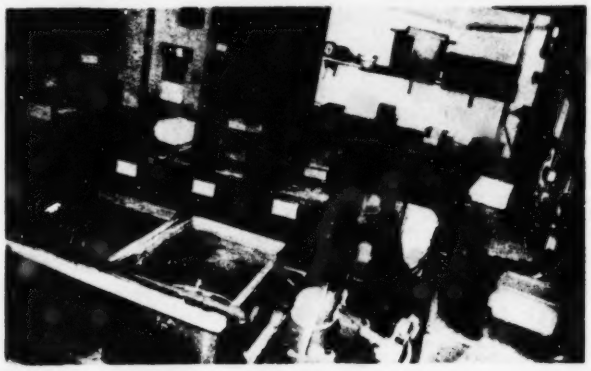

FIG. 1. Installations du Laboratoire de nutrition des poissons du Département de nutrition de l'Université de Guelph (photographie C.Y. Cho, OMNR).

BESOINS EN LIPIDES-GRAISSES

Les graisses ou lipides contiennent environ deux fois plus d'énergie par unité de poids que les protéines et près de trois fois plus que les hydrates de carbone. Dans la nature, les lipides sont la principale source d'énergie pour des poissons tels que les salmonidés. Ils sont en outre importants dans la formation et la fonction de la membrane cellulaire chez ces animaux. La qualité et la quantité des lipides dans les rations alimentaires des salmonidés sont donc d'une importance cruciale, et on leur a accordé beaucoup d'attention. L'unité de base des lipides est l'acide gras, chaîne de carbone acyclique ordinairement non ramifiée. Le nombre de doubles liaisons entre les atomes de carbone adjacents détermine son degré d'insaturation, et, de concert avec la position des doubles liaisons et le nombre d'atomes de carbone, sert à identifier et à nommer les différents groupes d'acides gras. La position de la première liaison double en termes du nombre d'atomes de carbone qui la sépare de l'extrémité méthyle (CH_3) de la chaîne de carbone dénote un type particulier d'acide gras non saturé. Il y a quatre principales séries d'acides gras importants dans la nutrition et la physiologie des poissons : le type palmitoléique, avec 16 atomes de carbone et une seule liaison double avec 7 atomes de carbone du groupe méthyle, 16:1 oméga 7 (16:1ω7), le groupe oléique (ω9) qui a 18 atomes de carbone et une seule liaison double avec 9 atomes de carbone du groupe

méthyle (18:1ω9), le groupe linoléique (ω6) qui possède 18 atomes de carbone avec la première de deux doubles liaisons étant avec 6 atomes de carbone du groupe méthyle (18:2ω6) et le type linolénique (ω3) qui est également un acide à 18 carbones avec la première de ses trois doubles liaisons étant avec trois atomes de carbone du groupe méthyle (18:3ω3). Les animaux, y compris les poissons, ne peuvent pas synthétiser les acides gras ω6 et ω3, et il faut donc les ajouter aux rations. Pour s'assurer d'un apport suffisant d'énergie, il ne faut donc pas s'arrêter au niveau des lipides, mais il faut aussi considérer la quantité d'acides gras ω6 et ω3 présents dans les lipides et dans la diète.

Niveaux des lipides alimentaires

Dans la pratique, les rations alimentaires des truites contiennent normalement entre 6 et 14 % de graisse crue. On ajoute ordinairement au régime des graisses animales, marines ou végétales, ou un mélange de ces graisses, afin d'assurer un niveau adéquat d'énergie et la concentration requise d'acides gras ω3 et ω6. De récents travaux ont démontré que des teneurs élevées en graisses alimentaires, dans la gamme de 15-20 %, pouvaient être avantageuses pour la truite, par suite de l'épargne des protéines que causent les graisses. Ces études indiquent que de hauts niveaux de graisses augmentent le dépôt des protéines chez des truites recevant certaines rations. De telles rations à haute teneur en graisses diminuent les besoins minimaux en protéines de 40 à 35 % du régime séché à l'air ; il peut en résulter certaines économies. On a évité dans le passé les régimes à haute teneur en graisses à cause de la difficulté qu'il y avait à former des boulettes ou des miettes, et aussi à cause de la possibilité d'oxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI) responsable d'une rancidité oxydante résultant en une destruction de certaines vitamines. La carcasse, en particulier la cavité viscérale, de poissons nourris à des niveaux élevés de graisses contiendra plus de ces dernières. Ceci peut être un avantage dans la production de poissons destinés à l'ensemencement dans un programme de gestion et qui pourront prendre beaucoup de temps à s'adapter à un nouvel environnement. Par contre, la chose n'est pas très désirable chez un poisson de table commercial. Il faudra davantage de recherche dans ce domaine. On pourrait s'attendre aussi que les poissons à haute teneur en graisses soient plus exposés à la rancidité à l'entreposage, en particulier si l'on a utilisé de l'huile de poisson comme source de graisses supplémentaires.

Qualité des graisses

Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, les poissons sont incapables de synthétiser les acides gras ω 3 et ω 6, et il faut les ajouter à leur régime alimentaire. C'est pour cela qu'on appelle ces acides gras « acides gras essentiels ». Si l'on veut obtenir des taux de croissance optimales, au moins 1 % du régime de la truite devra contenir la série ω 3 d'acides gras. Bien que les acides gras ω 6 puissent être essentiels, on ignore à quel niveau ils sont requis. On a même des indices qu'une forte proportion d'acides gras ω 6 par rapport aux acides gras ω 3 dans la diète de la truite peut nuire à la croissance. Des niveaux trop bas d'acides gras ω 3 causent une carence d'acides gras essentiels.

En dépit d'un niveau apparemment adéquat de 18:3ω3 ou acide linolénique dans les huiles végétales telles que les huiles de soya ou de canola, les huiles marines en général améliorent considérablement la croissance de la truite. Ce phénomène est probablement lié aux niveaux élevés d'acides gras hautement polyinsaturés (AGHI) de la série ω 3 dans les huiles marines, en particulier les acides gras docosapentaenoïque (20:5ω3) et docosahexaenoïque (22:6ω3). Ce sont les AGHI qui sont, du point de vue de la structure, les plus importants dans les membranes physiologiques des poissons. C'est pour cette raison que même si un poisson peut convertir l'acide linolénique en AGHI, cette conversion ne semble pas se produire à un taux suffisamment rapide pour une croissance optimale. De plus, les huiles marines contiennent des teneurs beaucoup plus faibles en acides gras ω 6 que les huiles végétales. Une forte concentration d'acides gras ω 6 peut inhiber la conversion de l'acide linolénique (ω3) en AGHI et par conséquent réduire l'aptitude des truites à croître au taux optimal. Il faudra faire plus de recherche dans ce domaine, et des travaux se poursuivent au Laboratoire de nutrition des poissons à Guelph. Il se peut, par exemple, que les huiles de poisson contiennent un ou plusieurs facteurs non identifiés, dont les salmonidés ont besoin, et qui ne sont pas présents dans les graisses animales ou végétales.

Hydrates de carbone

On est loin de s'accorder sur le niveau d'hydrates de carbone pouvant être toléré dans le régime alimentaire des salmonidés. La formulation des rations d'autres animaux domestiques contient habituellement de grandes quantités de grains de céréales, à teneur élevée en hydrates de carbone et relativement peu dispendieux. Il semblerait désirable d'utiliser ces ingrédients comme sources peu dispendieuses d'énergie, fournies en grande partie par l'amidon, dans les rations de salmonidés. Cependant, le régime naturel de ces poissons contient très peu d'hydrates de carbone. Bien que les voies fondamentales du métabolisme des hydrates de carbone soient semblables à celles des autres animaux, il y a, semble-t-il, des différences importantes qui affectent l'utilisation des hydrates de carbone alimentaires.

On a constaté, après diverses études, que les salmonidés pouvaient utiliser efficacement un niveau d'hydrates de carbone aussi élevé que 25 % de la diète, alors que d'autres études ont démontré un niveau tolérable aussi bas que 12 % du régime sous forme

d'hydrates de carbone digestibles. Des résultats aussi divergents peuvent être dus à plusieurs facteurs, tels que l'espèce, l'âge et la taille des poissons, la température de l'eau et probablement la forme des hydrates de carbone utilisés. Le principal hydrate de carbone que contiennent les grains de céréales est l'amidon. Les salmonidés digèrent mal cette substance et, bien que la cuisson ou le chauffage puisse améliorer sa digestibilité, l'aptitude des poissons à utiliser le glucose, produit final de la digestion de l'amidon, est quand même limitée. En outre, de récents travaux ont indiqué que la méthode de transformation influence la disponibilité de l'amidon : la transformation par extrusion (comme dans la fabrication de boulettes dilatées ou flottantes) augmente notablement la disponibilité des hydrates de carbone dans les rations de truites. Il en résulte chez ces dernières des foies plus volumineux et des teneurs plus élevées en glycogène hépatique, comparativement à des truites nourries aux mêmes rations sous forme de boulettes préparées à la vapeur (boulettes qui s'enfoncent). Une diète contenant des quantités excessives d'hydrates de carbone présente des dangers pour les salmonidés : elle cause des concentrations anormales de glycogène dans le foie, une croissance ralentie et une mortalité accrue, surtout à basse température de l'eau.

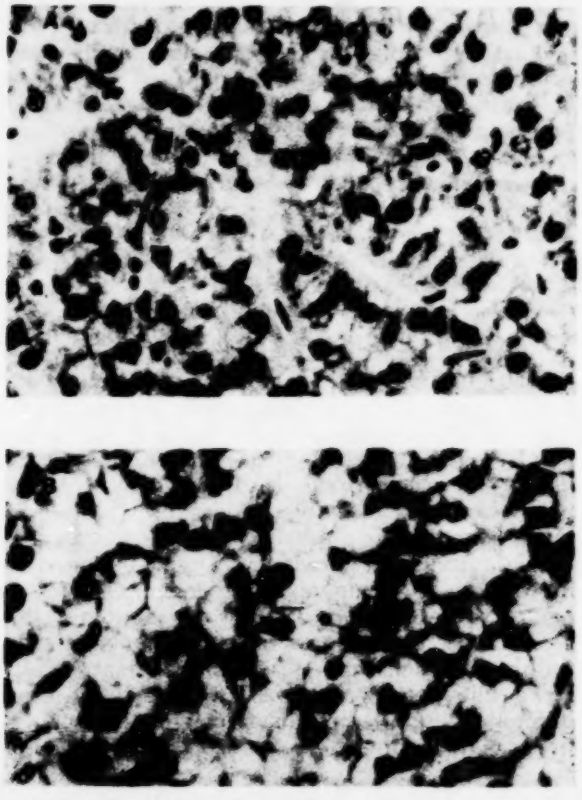

FIG. 2. Une teneur élevée (>20 %) en hydrates de carbone alimentaires cause une hypertrophie du foie, avec vacuoles remplies de glycogène dans les hépatocytes (B), comparativement à des foies normaux (A) (photographie B. Hicks).

Des tests de tolérance du glucose administré par voie buccale chez des truites indiquent que ces poissons supportent mal de grandes quantités de glucose. Les mécanismes de production d'insuline chez la truite ne réagissent pas à une arrivée abondante de glucose, ce qui veut dire que le métabolisme de cette substance et son transport dans les cellules se font au ralenti. On observe également une incapacité à « phosphoryler » le glucose, une étape nécessaire dans le métabolisme. Il y aurait intérêt à mener des recherches dans ce domaine, en termes d'amélioration possible de la phosphorylation du glucose et de production et réaction de l'insuline chez les salmonidés. Ceci pourrait encourager l'emploi de plus d'hydrates de carbone dans l'alimentation des salmonidés. Il nous faut aussi en connaître davantage sur l'adaptation à l'amidon en fonction du vieillissement du poisson. Nous suggérons pour le moment que les hydrates de carbone ne dépassent pas 20 % de la diète et que, en attendant qu'on ait plus de renseignements sur la tolérance de l'amidon alimentaire dans les rations des salmonidés, l'on fournisse à ces derniers suffisamment d'énergie sous forme de graisses. Les salmonidés se prêtent facilement à la néoglucogénèse ou synthèse du glucose à partir d'amino-acides, de sorte qu'il n'y a pas de danger de carence de glucose dans les tissus qui dépendent de cette substance comme source d'énergie.

Besoins en vitamines

On sait depuis une quarantaine d'années que le régime alimentaire des truites doit contenir certains « facteurs alimentaires accessoires » ou vitamines. On a commencé en 1947 à l'Université du Wisconsin des expériences visant à quantifier ces besoins. Pour déterminer le niveau de vitamines requis, on a ordinairement fait appel à une diète d'essai semi-purifiée fournissant tous les éléments nutritifs essentiels à des niveaux optimaux. De telles diètes ont été mises au point et on les utilise dans des recherches sur la nutrition des poissons. Toutefois, dans les mêmes conditions, elles n'assurent pas un taux de croissance aussi rapide que les diètes pratiques de truites. En outre, les niveaux requis ont été en grande partie fondés sur le stockage dans le foie d'une vitamine en particulier. C'est pourquoi, bien qu'on dispose de données sur les niveaux de presque toutes les vitamines requises par les salmonidés, on a quand même besoin d'études supplémentaires pour mieux évaluer ces estimations. Pour cela, on fera appel à des diètes semi-purifiées améliorées et, en particulier, à des diètes pratiques. Dans l'évaluation des besoins en une vitamine particulière, il faudra utiliser un ou plusieurs des paramètres suivants : taux de croissance, rendement de la nourriture, mortalité, absence de symptômes de carence, niveaux de stockage de la vitamine, et, plus récemment, paramètres physiologiques tels que analyse du sang (niveau d'hémoglobine, valeur d'hématocrite, numération des érythrocytes), teneur en eau de la carcasse, teneur en protéines et lipides, et activité d'enzymes spécifiques à une vitamine. Des

études récentes sur les besoins en vitamines des poissons, fondées sur des paramètre physiologiques, en particulier l'activité des enzymes, ont donné des résultats différents de ceux d'études antérieures. D'où la nécessité de réévaluer les besoins en vitamines déterminés antérieurement.

Le tableau 2 donne une liste des besoins en vitamines reconnues à l'heure actuelle pour les salmonidés, ainsi que les symptômes de carence les plus évidents. Pour aider les manufacturiers et les consommateurs, les valeurs sont exprimées en milligrammes par kilogramme de ration. Ces valeurs s'appliquent aux jeunes ou très jeunes poissons. On suppose qu'à mesure que le poisson vieillit, ses besoins en vitamines diminuent. Les valeurs indiquées devraient donc suffire amplement aux adultes. On a cependant très peu étudié les besoins en vitamines des poissons adultes, particulièrement des stocks reproducteurs. C'est donc là un domaine important de recherche pour l'avenir.

De récents travaux ont mis en évidence la grande instabilité de l'acide ascorbique dans les diètes pratiques et expérimentales. Les facteurs influençant la stabilité de cet acide sont la teneur en eau de la diète, la méthode de transformation, les conditions de stockage et possiblement les ingrédients qui constituent la ration. Il peut aussi y avoir des pertes importantes d'acide ascorbique et d'autres vitamines solubles dans l'eau par lixiviation. Il est donc nécessaire, pour compenser ces pertes, de fournir un supplément de certaines vitamines en plus des quantités recommandées. Les nourritures qui risquent probablement le plus de perdre leurs vitamines par lixiviation sont celles des diètes de départ, à cause de leur plus grande surface et de l'accessibilité des vitamines solubles dans l'eau à l'environnement aquatique. De basses températures de l'eau, suscitant les poissons à être relativement inactifs, aggravent le problème : les petites particules de nourriture demeurent dans l'eau plus longtemps qu'à des températures plus élevées. Il est donc important, dans les diètes de départ, de recourir à des ingrédients naturels, tels que la levure de bière, comme source de vitamine B. Dans ces ingrédients, les vitamines sont sous une forme conjuguée et sont beaucoup moins solubles que les vitamines synthétiques.

Besoins en minéraux

On a fait jusqu'à maintenant très peu de recherche sur les besoins en minéraux des poissons et on a très peu d'information sur le sujet. Cette lacune est due au fait que l'environnement aquatique contient différentes concentration de divers minéraux et que, pour cette raison, il est difficile de

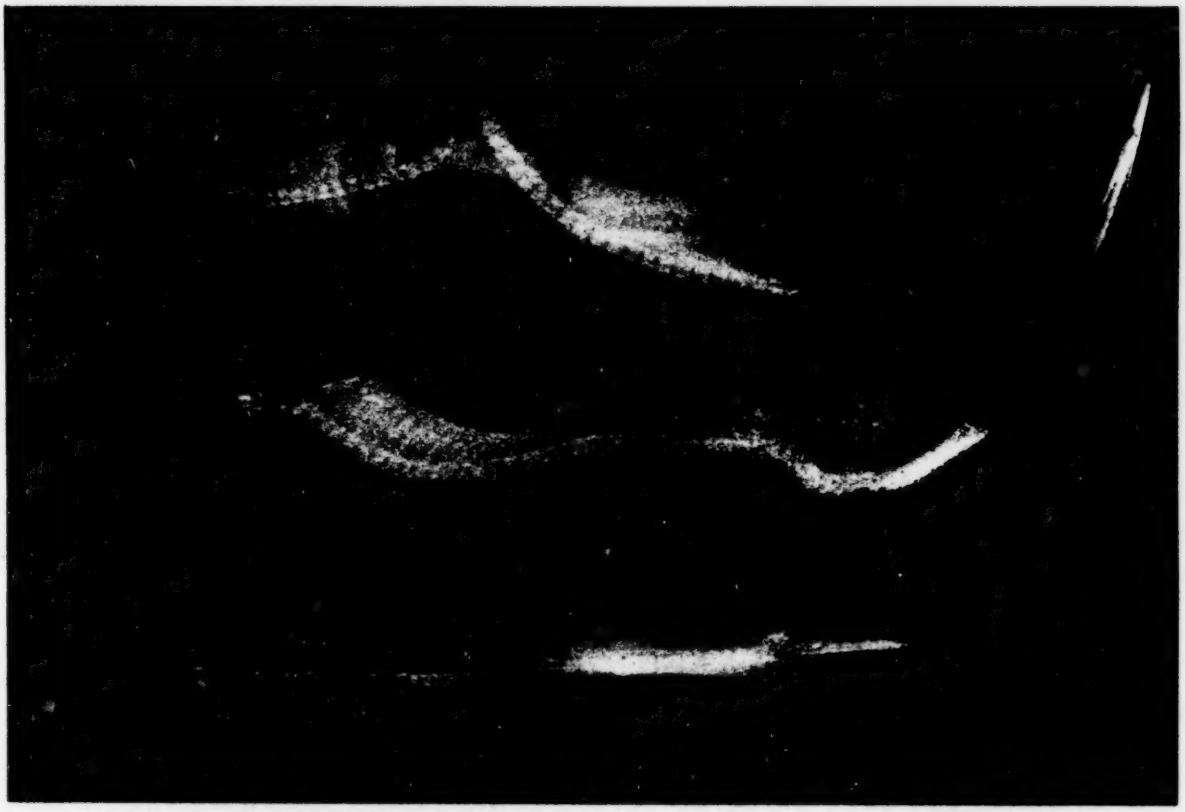

Fig. 3. Une carence en acide ascorbique chez la truite arc-en-ciel cause des difformités des os (scoliose et lordose), comme le démontre cette radiographie (photographie B. Hicks).

poursuivre des expériences. Il semble que les poissons aient la faculté d'absorber certains éléments par leur membrane branchiale. C'est pourquoi il est non seulement difficile de quantifier les besoins exacts en minéraux, mais aussi, il est difficile pour certains éléments de produire une carence visible en minéraux. Cependant, plusieurs études ont démontré que, malgré ces difficultés, il y a avantage à ajouter des suppléments minéraux aux nourritures et que par conséquent, il est possible de quantifier les besoins en minéraux.

Nous donnons au tableau 3 une liste des symptômes de carences typiques et les niveaux requis pour certains minéraux. Nous ne possédons pas de données sur les autres minéraux, mais il se fait présentement des recherches dans ce domaine. Il est intéressant de noter que certains minéraux présents dans l'eau, tels que le calcium, sont facilement absorbés à travers les membranes branchiales. On peut donc maintenir l'homéostasie du calcium chez la truite dans des eaux à très faibles teneurs en calcium. Par conséquent, les besoins en calcium alimentaire ne sont que de 0,2 % du régime. Le phosphore, au contraire, n'étant présent qu'en faible quantité dans la plupart des eaux, doit être ajouté au régime alimentaire. Etant donné que le phosphore est le premier élément nutritif limitatif de la croissance des végétaux dans la plupart des systèmes aquatiques, il n'est pas surprenant que la principale source de ce minéral soit le régime alimentaire. Sauf pour le calcium, et peut-être aussi pour le magnésium, les éléments minéraux ne se retrouvent probablement pas dans l'eau en quantité suffisamment grande pour qu'on puisse les omettre de la diète.

De récentes études ont mis en évidence une relation directe entre le calcium alimentaire et les niveaux de zinc chez les salmonidés. La présence de calcium dans le régime tend à rendre le zinc inaccessible aux poissons. À des régimes à haute teneur en calcium, on devra ajouter plus de zinc. C'est donc dire que, dans la formulation de diètes pratiques pour la truite, il faudra tenir compte de l'interaction entre le calcium et le zinc alimentaires. On ignore encore si la teneur en calcium de l'eau influe sur le besoin en zinc et peut-être même en autres minéraux essentiels.

On a mené très peu de recherches sur l'interaction entre les minéraux du régime ou de l'eau et les autres éléments nutritifs dans la diète. De récents travaux ont démontré que l'acide ascorbique pouvait

TABLEAU 2. Besoins en vitamines et symptômes de carence chez les salmonidés[a].

Vitamine	Besoins (en mg/kg de ration séchée à l'air)	Symptômes de carence
Soluble dans l'eau		
Thiamine	10	Convulsions, névrite
Riboflavine	20	Cataractes, anémie, coloration foncée
Niacine	150	Branchies enflées, lésions intestinales, mauvaise coordination, anémie
Acide pantothénique	40	Branchies en massue, anémie, comportement léthargique, prostration
Pyridoxine	10	Anémie, hyperirritabilité, crises, nage erratique
Cobalamine (B_{12})	0,02	Anémie, érythrocytes fragmentés et immatures
Acide folique	5	Anémie, caudale fragile, léthargie, branchies pâles
Biotine	1	Anorexie, branchies pâles, haute teneur en glycogène du foie, lésions intestinales
Acide ascorbique	100	Colonne vertébrale difforme, anémie, léthargie, prostration
Inositol	400	Anorexie, mauvaise croissance, mauvais rendement de la nourriture
Choline	3000	Hémorragies, foie gras, lésions intestinales, mauvaise croissance
Soluble dans l'huile		
Vitamine A	2000 U.I./kg de ration	Cataractes, photophobie, anémie, vision amoindrie
Vitamine D_3	3000 U.I./kg de ration	Léthargie, contractions ressemblant à la tétanie, teneur accrue en lipides dans le foie, le muscle, la carcasse, queue tombante
Vitamine K	80	Hémorragies, branchies pâles, temps d'action de la prothrombine plus long
Vitamine E	30 U.I./kg de ration	Anémie, diathèse exsudative, dépigmentation cutanée et épicardite

[a]La plupart des besoins en vitamines ont été tirés du *National Research Council* (1973).

TABLEAU 3. Symptômes de carence et besoins en minéraux chez les salmonidés[a].

Minéral	Symptômes de carence	Besoins (% de la ration)
Calcium	Mauvaise croissance et pauvre rendement de la nourriture, mortalité élevée	0,2–1,0
Phosphore	Anomalies du squelette, difformités des os	0,7–0,8 (inorganique)
Magnésium	Calcinose rénale	>0,006
Fer	Anémie microcytique, hypochromique	N. D.[b]
Zinc	Cataractes, érosion de la nageoire caudale	0,0015–0,003[c]
Iode	Hyperplasie thyroïdienne, goitre	0,6–1,1[d]
Sélénium	Distrophie musculaire, diathèse exsudative	0,1–0,35[e]

[a]Modifié de Lall (1979).
[b]Non déterminé.
[c]Les régimes à haute teneur en calcium accroissent considérablement le besoin en zinc.
[d]µg/g de ration.
[e]Poston et coll. (1976); Hilton et coll. (1980).

facilement influencer l'absorption du cadmium, du cuivre et du fer de l'eau et du fer et du zinc alimentaires. Ces interactions doivent également être prises en considération dans la formulation des diètes pour la truite.

Les besoins, fonctions et interactions des minéraux sur le régime alimentaire et l'eau des poissons devront être davantage étudiés. Certains des problèmes rencontrés dans les établissements de salmoniculture peuvent fort bien résulter d'une carence ou d'un excès de ces substances nutritives dans la diète ou dans l'eau. Des travaux effectués dans notre laboratoire ont démontré que même un surplus négligeable de phosphore pouvait causer une croissance algale excessive. Si l'on veut prévenir l'eutrophisation de l'eau, il faut donc s'assurer que les nourritures de poisson ne contiennent pas de quantités excessives d'éléments nutritifs. Ceci s'applique en premier lieu probablement au phosphore et aux protéines, puisque ce minéral et l'azote sont les premier et second éléments nutritifs limitant la croissance des algues dans l'eau.

Effet de la température ambiante sur les besoins nutritifs

Par température ambiante standard (TAS) on entend la température à laquelle on obtient une croissance et un rendement maximaux de la nourriture. Chez la truite arc-en-ciel, cette température est de 15°C, alors qu'elle est de 10°C pour le saumon. Comme le démontre la figure 6, la truite arc-en-ciel croît à un rythme beaucoup plus lent à 7°C qu'à 15°C. À des températures continuellement égales ou inférieures à 9°C, l'élevage de la truite ne serait probablement pas rentable.

L'utilisation de diètes de différentes compositions à différentes températures ambiantes a été étudiée au Laboratoire de nutrition des poissons de l'Université de Guelph. On a constaté que les besoins en protéines étaient d'environ 40 % de la diète à des températures de 7 à 18°C. À la température la plus élevée, les poissons croissaient beaucoup plus rapidement et leurs besoins en protéines totales étaient plus élevés; cependant, ils étaient capables de subvenir à ce besoin accru en protéines en consommant plus de nourriture à mesure que s'élevait la température ambiante. Par conséquent, un régime contenant 40 % de protéines était adéquat dans cette gamme de températures.

Par ailleurs, lorsque la teneur en graisses du régime à basse température ambiante fut augmentée, les poissons devinrent extrêmement gras, le dépôt des graisses étant maximal dans la cavité intestinale. Les poissons maintenus à hautes températures ambiantes étaient plus en mesure de tolérer de hautes teneurs en graisses parce qu'ils étaient plus actifs, étant même hyperactifs à des températures dépassant 15°C. Ce besoin accru d'activité semble être surtout un besoin accru d'énergie. Il semble que les besoins en graisses, en pourcentage de la diète, soient plus grands à de hautes températures ambiantes.

On a constaté que la croissance de truites arc-en-ciel à des diètes à haute teneur en hydrates de carbone était beaucoup moindre à de basses températures qu'à de hautes températures ambiantes. Avec de tels régimes alimentaires, le pourcentage de glycogène hépatique et le rapport poids du foie/poids du corps étaient plus élevés à basses températures. Comme les foies contenant beaucoup de glycogène semblent moins aptes à se débarrasser de certains composés inorganiques et organiques, des diètes à haute teneur en hydrates de carbone peuvent présenter certains dangers, encore plus grands à basses températures. Cette découverte comporte d'importantes implications avec des eaux contaminées par plusieurs polluants. Il faudra plus de recherche avant de connaître avec certitude l'exacte tolérance aux hydrates de carbone alimentaires à différentes températures ambiantes. Il faudra aussi faire beaucoup plus de recherche concernant l'effet de la température sur les besoins en macro et micronutriments du régime alimentaire des salmonidés.

Mesures de la digestibilité des produits utilisés dans la formulation des rations

Bien qu'un produit alimentaire particulier puisse, de par sa composition chimique, sembler posséder de bonnes qualités nutritives, il faut en connaître la

digestibilité. Par cette dernière, on entend la facilité avec laquelle les éléments nutritifs sont digérés et assimilés par les truites. On l'exprime en pourcentage. Pour mesurer la digestibilité, on détermine la quantité de substances nutritives éliminées dans les fèces, indiquant par conséquent la quantité absorbée par le poisson. Les mesures de digestibilité touchent ordinairement les protéines, les graisses et l'énergie, paramètres les plus utiles dans la formulation des rations. Il est nécessaire de connaître, dans la formulation des rations tant pratiques qu'expérimentales, la digestibilité des substances nutritives qu'elles contiennent. En outre, lorsqu'il s'agit de déterminer les besoins en substances nutritives, il est essentiel d'en connaître la digestibilité. Il est donc évident, dans la détermination des rations les moins dispendieuses pour la truite, qu'il faille connaître à fond la composition chimique des produits et leur digestibilité pour une espèce particulière, de façon à pouvoir substituer efficacement d'autres produits qui satisferont aux exigences nutritives et économiques.

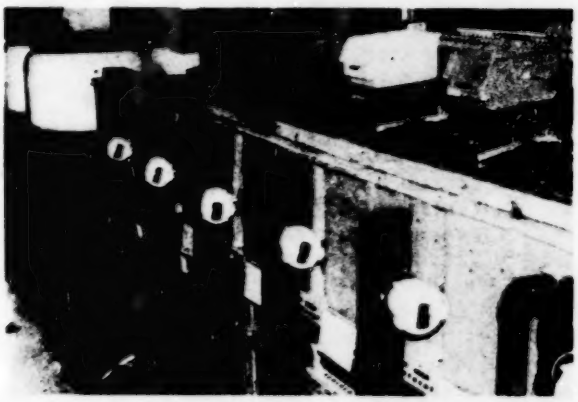

FIG. 4. Bassins de digestibilité d'un laboratoire de poissons au Laboratoire de nutrition des poissons, Département de nutrition, Université de Guelph (photographie C.Y. Cho, OMNR).

On dispose d'analyses chimiques relativement précises des protéines, graisses, hydrates de carbone, minéraux et certaines vitamines présents dans la plupart des produits alimentaires, et on y travaille de façon routinière dans les laboratoires de nutrition. Malgré cela, on ne connaît pas la digestibilité de ces produits pour la truite. Le Département de nutrition de l'Université de Guelph est en train de combler cette lacune.

Les graisses et les protéines des produits alimentaires tels que la farine de poisson et la farine de soya, sont ordinairement très digestibles (tableau 4), tandis que les hydrates de carbone, tel l'amidon cru, ne sont pas efficacement digérés.

La détermination de la teneur en énergie métabolisable (EM) d'un produit alimentaire comporte la mesure, non seulement des pertes de substances nutritives dans les fèces, mais aussi celles des déchets azotés dans l'urine ou par les branchies. Comme il n'y a pas de pertes, dans l'urine et par les branchies, de graisses et d'hydrates de carbone, ces pertes ne touchent que la portion protéines de la diète, c.-à-d. que l'EM et l'énergie digestive (ED) des fractions graisses et hydrates de carbone des ingrédients ou des rations mixtes sont identiques. Des méthodes ont été mises au point permettant de recueillir quantitativement les pertes par les branchies et dans l'urine chez la truite arc-en-ciel, de sorte qu'il est possible de déterminer chez cette espèce les valeurs de l'EM des produits alimentaires. On a besoin de plus de recherche en vue de déterminer l'EM des produits disponibles au Canada avant de pouvoir appliquer le système à la formulation des rations de truites dans ce pays.

TABLEAU 4. Coefficients de digestion apparente de quelques produits alimentaires canadiens[a].

Produit alimentaire	Pourcentage			
	Matière sèche	Énergie	Graisses	Protéines
Farine de hareng (70 % P.C.)	88	95	90	89
Farine de plume (hydrolisée)	79	75	69	63
Farine de soya (50 % P.C.)	70	77	90	96
Son de blé	30	41	90	96
Maïs moulu	32	38	86	91
Amidon (maïs)	-3	13	—	—

[a]Cho et Slinger (1977).

Formulation, transformation et contrôle de la qualité des rations

FORMULATION DES RATIONS

La section suivante traite du type, de la qualité et de la quantité des produits utilisés dans la formulation des rations de départ, de production et de stock reproducteur de truites.

Diètes de départ (Départ + granules 1 et 2)

Ces diètes devraient contenir un minimum de 45 % de protéines crues avec un minimum de 45 % de farine de poisson, des niveaux de graisses crues compris entre 15 et 20 %, des fibres crues ne dépassant pas 4 % et une teneur en eau pas plus élevée que 10 %. Donner ces rations jusqu'à ce que les poissons atteignent 1 g en poids ou que l'on obtienne un taux de 450 poissons/lb.

Diètes de production (granules n^{os} 3, 4 et 5, boulettes de 3/32, 3/16 et 1/4 po)

Les diètes de production devraient contenir un minimum de 40 % de protéines crues avec un minimum de 24 % de farine de poisson, un niveau de graisses crues de 10–15 %, un niveau de fibres crues ne dépassant pas 5 % et une teneur en eau au moment de la fabrication pas plus élevée que 10 %.

Formulation de rations pour salmonidés

	Pourcentage de la ration		
	Départ	Production	Stock reproducteur
A. Farine de poisson (hareng, anchois, maquereau, capelan) —minimum de protéines crues 65 % —stabilisée à l'éthoxyquine —niveau maximal de graisses 12 % —humidité maximale 10 % —teneur maximale en sel ne dépassant pas 3 % —maximum de cendres 15 %	45–50	25–35	30–35
B. Son de blé —minimum de protéines crues 16 % —maximum de fibres crues 9,5 %	0–15	10–30	15–35
C. Farine de gluten de blé —minimum de protéines crues 80 %	0–3	0–2	0–1
D. Farine de soya —minimum de protéines crues 48 %	5–10	5–15	5–20
E. Farine de gluten de maïs —minimum de protéines crues 60 %	0–10	0–10	0–10
F. Farine de luzerne déshydratée —minimum de protéines crues 17 % —maximum de fibres crues 27 %	—	0–3	0–5
G. Petit-lait séché —minimum de protéines crues 13 % —partiellement délactosé	0–5	0–3	0–5
H. Levure de bière séchée —45 % de protéines crues	0–5	0–5	0–5
I. Solubles de distillation de maïs séchés —minimum de protéines crues 27 %	0–10	0–10	0–10
J. Farine de sous-produits animaux			
—Farine de plume hydrolysée, minimum de protéines crues 85 %	0–5	0–7	0–7
—Farine de sous-produits de volaille, min. de protéines crues 60 %	0–5	0–7	0–7
—Farine de sang, séchage annulaire ou particulaire, min. de protéines crues 80 %	0–5	0–7	0–7
—Farine de viande, min. de protéines crues 50 %	0–5	0–7	0–7
K. Supplément de graisses			
—Huile d'animaux marins (saumon, capelan, hareng, maquereau, etc.)	5–15	5–15	5–15
—Huile végétale (huile de soya, huile de canola)	0–5	0–8	0–5
—Graisses animales, toutes les huiles et graisses à être stabilisées	0–5	0–5	0–5
L. Mélange de vitamines	2–4	2–4	2–4
M. Mélange de minéraux	2–4	2–4	2–4

Diètes de stock reproducteur (boulettes de 1/4 ou 1/2 po)

Les diètes de stock reproducteur devraient contenir un minumum de 35 % de protéines crues avec une teneur en farine de poisson d'un minimum de 30 %, un niveau de graisses crues de 10–15 % et un niveau de fibres crues ne dépassant pas 5 %. La teneur en eau au moment de la fabrication ne devrait pas excéder 10 %.

Certains éleveurs utilisent diverses modifications de ces diètes. Par exemple, quelques-uns obtiennent de bons résultats en donnant à leurs alevins au stade de nage vers le haut des granules nº 1, plutôt qu'une diète de départ, pendant environ 1 semaine comme c'était la pratique courante. En outre, il est difficile et coûteux pour les manufacturiers de nourritures de fabriquer des boulettes de 3/32 po et, dans bien des cas, on leur substitue une granule de grosseur nº 5. Les boulettes de 1/4 po peuvent être utilisées avec le stock de production plus âgé aussi bien que pour le stock reproducteur, car il y a peu d'avantages à employer des boulettes de 1/2 po.

Les diètes de départ, de production et de subsistance sont un mélange de produits animaux, végétaux et marins (poissons). Comme nous l'avons énoncé dans l'introduction, les spécialistes de la nutrition des poissons s'efforcent de trouver les formules les moins dispendieuses qui assureront en tout temps une rentabilité optimale de production. Présentement, le régime alimentaire doit contenir une proportion significative de farine de poisson pour assurer une croissance optimale et un emploi économique de la nourriture. Il est à espérer qu'à l'avenir, des recherches plus poussées sur la formulation des rations pratiques permettront d'éliminer la dépendance d'une bonne partie des produits marins, si, du point de vue économique, il y a intérêt à le faire. Des liants, tels que le lignosol, peuvent être utilisés dans ces diètes ; les recherches menées à Guelph ont cependant démontré que le son de blé et la farine de gluten de blé sont non seulement d'excellents liants mais aussi contribuent à la valeur nutritive de la nourriture. On ajoute ordinairement aux rations de truites des vitamines et des minéraux mélangés à l'avance. Bien que les ingrédients des régimes contiennent eux-mêmes des vitamines et des minéraux, on devrait ajouter des suppléments de ces micronutriments afin d'assurer des niveaux optimaux de ces substances. Certaines vitamines, telles que l'acide ascorbique, sont thermolabiles et sont détruites lors de la transformation et de l'entreposage. Elles peuvent également se perdre par lixiviation dans l'eau au moment des repas. Les diètes contiennent de telles vitamines en surplus suffisant pour compenser les pertes anticipées (tableau 5).

TABLEAU 5. Diètes de salmonidés—Formules de l'Université de Guelph[a].

Ingrédients	Nourriture internationale nº	Quantité dans la diète (kg/100 kg)		
		Départ	Croissance	Stock reproducteur
Farine de poisson, hareng (70 % P.C.)	5-20-968	44	24	34
Farine de plume hydrolysée (85 % P.C.)	5-03-795	5	5	5
Farine de sous-produits de volaille (58 % P.C.)	5-03-798	5	7	6
Farine de soya (49 % P.C.)	5-20-638	8	10	8
Farine de gluten de maïs (60 % P.C.)	5-09-318	7	9	7
Levure de bière séchée (45 % P.C.)	7-05-527	5	5	5
Farine de luzerne déshydratée (17 % P.C.)	1-00-023	—	—	4
Son de blé (18 % P.C.)	4-05-205	10	27,6	21
Farine de gluten de blé (80 % P.C.)		3	—	—
Mélange de vitamines		2	2	2
Mélange de minéraux		1	1	1
Huile de hareng ou de saumon (non renforcée de vitamine A et D et stabilisée)[b]		10	8	8

[a]Formules de diètes de l'Université de Guelph (GRT) (1980).
[b]Un mélange antioxydant recommandé pour la stabilisation de l'huile en est un qui contient du B.H.T. 20 %, du B.H.A. 20 %, du citrate monoglycéride 10 % et un porteur d'huile végétale 50 %. Ce mélange est ajouté à l'huile à un taux de 0,05 %. On peut le remplacer par de l'éthoxyquine au taux de 0,05 % dans l'huile.

TRANSFORMATION

Une ration sèche destinée aux salmonidés doit être mise en boulettes ou en miettes de façon à permettre l'ingestion d'une quantité adéquate de nourriture et à prévenir le salissage de l'eau. Une transformation inadéquate annulerait les effets d'ingrédients de haute qualité dans la formulation des nourritures à truites. Malgré cela, on ne s'est pas suffisamment préoccupé de la transformation de ces nourritures en termes d'effets sur les rations et sur la truite. On utilise les mêmes méthodes que dans la préparation d'aliments pour animaux domestiques, alors que les nourritures à poissons demandent plus de soins. Un des problèmes majeurs est la production de nourritures à haute teneur en particules fines appelées « fines ». Parce que les nourritures à poisson sont riches en huiles ou en graisses, il est difficile de produire des boulettes ou des miettes durables. Il faut tenir compte de nombreux facteurs dans le mélange ou la transformation des nourritures à truite. Les niveaux nutritifs d'une diète peuvent être influencés par certaines variables physiques, telles que la pression de vapeur et la température de transformation, le temps et la température de séchage, de même que la teneur en eau de la diète pendant et après la transformation. Le traitement pourra modifier l'accessibilité

Vitamines et minéraux mélangés à l'avance pour diètes de salmonidés[a]

Mélange de vitamines :	(g)
Vitamine A (1000 U.I./g) (acétate ou palmitate)	800,0
Vitamine D_3 (1000 U.I./g)	50,0
Vitamine E (1000 U.I./g) (d1-alpha-tocophéryl acétate)	15,0
Vitamine K (bisulfite sodique de ménadione)	2,7
Thiamine HCl	5,0
Riboflavine	4,0
Pantothénate de calcium-D	15,0
Biotine	0,05
Acide folique	1,0
Chlorure de choline (50 %)[b]	400,0
Vitamine B_{12} (0,1 %)	3,0
Niacine	25,0
Pyridoxine HCl	3,0
Acide ascorbique[b]	40,0
Éthoxyquine	8,0
DL-méthionine	200,0
Faire l'appoint à 2 kg avec du son de blé	+
Total (g)	2000,0

Mélange de minéraux :	
Sel iodé (99 % NaCl, 0,015 % I)	300,0
Iodure de potassium (KI) (76 % I)	1,0
Sulfate manganeux ($MnSO_4 \cdot H_2O$) (25 % Mn)	35,0
Sulfate ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) (21 % Fe)	30,0
Sulfate de cuivre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) (25 % Cu)	10,0
Sulfate de zinc ($ZnSO_4 \cdot H_2O$) (36 % Zn)	40,0
Faire l'appoint à 1 kg avec du son de blé	+
Total (g)	1000,0

[a]On devrait diluer davantage avant d'incorporer au régime.
[b]Devrait être ajouté au régime sous forme de mélange.

des hydrates de carbone et des protéines pour la truite et aussi détruire certaines vitamines.

Les points les plus importants à considérer dans la fabrication des nourritures à truites sont les suivants :

Considérations générales

Les miettes de départ sont extrêmement petites ; c'est pourquoi il faut moudre finement les ingrédients afin d'obtenir un mélange homogène.

Tous les ingrédients devraient être mélangés et pulvérisés dans un broyeur à marteau. Pour toutes les rations, la totalité des ingrédients devrait passer à travers un tamis de grandeur de maille 45 (normes canadiennes) qui équivaut à 354 μm ou 0,354 mm de diamètre (1 mm = 1 000 μm).

Réduction en boulettes — Dans la fabrication de boulettes, le mélange devrait être traité à la vapeur vive et sèche pour obtenir la texture voulue. Les boulettes doivent être suffisamment molles pour que les poissons puissent les consommer et les retenir, tout en étant assez fermes pour conserver leur cohésion, avec perte minimale de fines au cours de la manutention et du transport. Avec certaines formulations, il peut être nécessaire d'ajouter un liant.

Grosseurs standard des boulettes

2,35 mm (3/32 po) long × 2,35 mm (3/32 po) diamètre
3,1 mm (1/8 po) long × 3,1 mm (1/8 po) diamètre
4,7 mm (3/16 po) long × 4,7 mm (3/16 po) diamètre
6,25 mm (1/4 po) long × 6,25 mm (1/4 po) diamètre

Miettes ou granules

La fabrication de miettes ou de granules (le tableau 6 en donne les dimensions) comporte le broyage de boulettes, suivi du passage au tamis pour obtenir la taille désirée. Les miettes de départ et les miettes nos 1 et 2 devraient être broyées à partir de boulettes de 2,35 ou 3,1 mm. Les miettes nos 3 et 4 devraient être broyées à partir de boulettes de 3,1 mm.

Les rations terminées devraient être séparées selon la grosseur et ne devraient pas contenir plus de 15 % de granules plus grosses et (ou) plus petites. Afin de modifier le moins possible la formulation proposée, les fines devraient toujours circuler. Les fines d'une ration ne devraient jamais être ajoutées à une ration de grosseur différente. La teneur en fines (définies comme étant les particules passant à travers un tamis de 420 μm) ne devrait pas dépasser 3 % d'une ration à l'usine du manufacturier.

En ajoutant l'huile ou les graisses à la ration, il faudra ne pas dépasser 3 % du supplément de graisses au moment du mélange. La balance sera vaporisée sur les miettes ou les boulettes après la fabrication.

On devra refroidir les boulettes et les miettes à une température juste au-dessus de la température de l'air ambiant et les sécher à une teneur en eau de 10 % ou moins avant de les mettre en sacs ou de les charger pour livraison en vrac.

Les sacs devraient porter des étiquettes imprimées indiquant le numéro des miettes ou la grosseur des boulettes, l'identification de la ration et la date de fabrication. Des étiquettes de couleurs différentes aideront à éviter des erreurs dans la distribution des rations.

Types de transformation

Boulettes flottantes — procédé par extrusion — On injecte dans la ration de la vapeur à haute pression (5–7 kg/cm²), et la teneur en eau de la ration s'élève à approximativement 20 % (v/p). À ce point, un relâchement soudain de la pression cause l'emprisonnement de poches d'air dans les composants végétaux de la diète. Les boulettes sont ensuite séchées par

passage d'un tapis roulant au-dessus d'un réchaud ou par jets de gaz à 121°C. Les boulettes pressées ou dilatées sont très légères et flottent facilement à la surface de l'eau. Les truites, qui se nourrissent surtout à vue et en surface, semblent préférer les boulettes flottantes. Ces dernières ont en outre l'avantage, quand la nourriture est distribuée à la main, d'éviter un surplus de nourriture. De plus, la boulette pressée est très durable, ce qui l'empêche de se briser, avec production de fines et gaspillage qui en résulte. Les hautes températures utilisées dans ce procédé de transformation (135–155°C) semblent rendre les hydrates de carbone de la diète plus accessibles, causant une augmentation de la teneur en glycogène du foie et du rapport poids du foie/poids du corps. En outre, on ne peut faire flotter les nourritures en granules ou très petites boulettes. Des expériences à Guelph indiquent qu'avec des rations pressées, le taux de croissance ralentit, mais que le rendement de la nourriture augmente, comparativement à des boulettes régulières préparées à la vapeur. Des tests sur la fonction hépatique donnent à penser que le procédé par extrusion diminue la capacité du foie à se débarrasser de certains composés inorganiques et organiques.

TABLEAU 6. Grosseurs standard des granules

Grosseur		Tamis (normes canadiennes[a]) Ouverture	N°
Départ	Ne traverse pas	420 µm	40
	Doit traverser	595 µm	30
Granule n° 1	Ne traverse pas	595 µm	30
	Doit traverser	841 µm	20
Granule n° 2	Ne traverse pas	841 µm	20
	Doit traverser	1,19 mm	16
Granule n° 3	Ne traverse pas	1,19 mm	16
	Doit traverser	1,68 mm	12
Granule n° 4	Ne traverse pas	1,68 mm	12
	Doit traverser	2,38 mm	8
Granule n° 5	Ne traverse pas	2,38 mm	8
	Doit traverser	3,36 mm	6

[a]Les normes sont les mêmes aux États-Unis.

Réduction en boulettes à la vapeur — Présentement, la plupart des nourritures à poissons sont préparées de cette manière. Selon cette méthode, la vapeur est introduite à une pression d'environ 0,5–3,5 kg/cm² dans la chambre de conditionnement où elle se mélange à la nourriture jusqu'à ce que la température soit de 70–80°C et sa teneur en eau d'environ 15 % (v/p). La nourriture demeure dans la chambre de conditionnement pendant environ 5–6 secondes avant d'être repoussée hors de la matrice de réduction. Il existe différentes grosseurs de matrices. Ce type de boulettes coulera au fond au moment du repas, de sorte qu'il y a danger de suralimentation. Cependant, le personnel expérimenté ne donne de la nourriture qu'en proportion de l'appétit, ou seulement quand les poissons se nourrissent activement, de façon à éviter un gaspillage excessif. Ce gaspillage, mise à part toute considération économique, favorise la croissance bactérienne et cause une élévation de la demande biologique en oxygène (DBO), ce qui peut nuire à la santé des poissons.

Réduction en boulettes à froid — Ce type de transformation n'est pas communément utilisé dans la production commerciale des nourritures, mais on l'utilise occasionnellement dans des travaux de recherche sur la nutrition des poissons. La pression de vapeur et la température sont considérablement réduites dans un tel procédé; cependant, la teneur en eau est élevée à 20 % (v/p). Les boulettes fabriquées à froid sont moins durables que celles préparées à la vapeur ou pressées. Il y a donc augmentation marquée du gaspillage.

Boulettes humides — Ces boulettes contiennent diverses quantités de farine de poisson, fraîche ou congelée, en purée, non cuite, avec certains ingrédients secs. La diète est préparée selon la méthode décrite pour les boulettes à froid, et la teneur en eau est d'environ 50 % (v/p). Ces boulettes doivent être congelées jusqu'au moment de leur utilisation. Une manutention et un entreposage inadéquats peuvent causer un sérieux déséquilibre de certaines vitamines et graisses, et accroître la contamination bactérienne. Bien que la truite semble réagir favorablement à de telles diètes, l'utilisation de celles-ci avec la truite arc-en-ciel est limitée : d'abord on doit les conserver sous réfrigération et de plus, elles présentent des dangers de contamination bactérienne et d'introduction de maladies.

CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES RATIONS ET DE LEURS INGRÉDIENTS

Les manufacturiers de nourritures à poissons devront suivre les lignes directrices suivantes en ce qui a trait au contrôle de la qualité de leurs produits. Ces spécifications devront être strictement observées afin d'assurer aux nourritures une qualité alimentaire optimale et éviter de sérieuses conséquences, telles que mortalités massives de poissons dues à des ingrédients ou à une fabrication de mauvaise qualité.

1) Contrôle de la qualité des huiles alimentaires pour poissons

1) Valeur de peroxyde (V.P.) <10 m. éq. peroxyde par kg
2) Valeur d'acide thiobarbiturique (A.T.B.) <70 mg de malonaldéhyde par kg
3) Libres de solides en suspension qui pourraient boucher le vaporisateur
4) Faible teneur en eau : <1 % humidité + substances volatiles
5) Faible teneur en azote — moins de 1 %
6) Le profil des acides gras devrait indiquer un rapport élevé des acides $\omega 3/\omega 6$ (les meilleures huiles proviennent de poissons capturés au printemps, les moins bonnes en automne)

7) Libres d'acides gras cyclopropénoïdes, d'acide érucique et ne contenant pas plus de 1 mg.L^{-1} d'hydrates de carbone chlorés
8) Devraient être stabilisées par un liquide antioxydant ou un mélange de celui-ci — 500 mg/kg. Une huile de poisson adéquate, une fois désaérée et mélangée avec un antioxydant par barbotage d'azote gazeux, demeurera stable aussi longtemps qu'un an lorsque entreposée sous azote ou dans des récipients hermétiquement fermés.

2) Contrôle de la qualité des farines de poisson

1) Devraient être stabilisées avec éthoxyquine liquide à l'usine du manufacturier — 200 mg/kg
2) Entreposées à l'usine du manufacturier pendant un maximum de 3 mois
3) Minimum de protéines crues de 68 % pour les diètes de départ et de 65 % pour les autres
4) Digestibilité de la pepsine d'un minimum de 92,5 %
5) Azote ammoniacal de moins de 0,2 %
6) Minimum de graisses crues, 8 % (maximum suggéré, 11 %)
7) Teneur maximale en chlorure de sodium, 3 %. Maximum de cendres totales, 15 %
8) Maximum d'hydrates de carbone chlorés, 1,0 mg.L^{-1}
9) Doivent être finement moulues (350 μm ou moins).
   S'applique à tous les ingrédients. Les miettes de départ doivent passer à travers un tamis de 595 μm et être retenues par un tamis de 420 μm.
10) Libres de moisissures — ne doivent pas former de croûte ni être chauffées.

3) Contrôle de la qualité (diètes mélangées)

1) Humidité — ne doit pas dépasser 10 % au moment de la fabrication
2) Protéines crues — l'étiquette doit mentionner une garantie de minimum
3) Graisses crues — l'étiquette doit mentionner une garantie de maximum
4) Fibres crues — l'étiquette doit mentionner une garantie de maximum
5) Cendres totales — calcium, phosphore, sel, magnésium
6) Traces de minéraux — iode, manganèse, zinc, cuivre, fer
7) Profil des amino-acides
8) Profil des acides gras extraits à l'éther — mesures de la peroxydation des graisses
9) Tests de métaux lourds et d'hydrates de carbone chlorés
10) Dosages de l'acide ascorbique, de la vitamine E, de la biotine, de la vitamine A, etc.
11) Date de fabrication indiquée sur le sac.

FIG. 5. Établissement de pisciculture de Normandale, *Ontario Ministry of Natural Resources*, Turkey Point (Ontario) (photographie C.Y. Cho, OMNR).

Techniques et taux d'alimentation

TECHNIQUES D'ALIMENTATION

Le moment le plus approprié pour commencer l'alimentation exogène de la truite arc-en-ciel d'élevage est celui où les réserves vitellines ont été complètement absorbées. Il faudra se rappeler qu'une quantité considérable de vitellus pourra demeurer dans la cavité abdominale après que tout signe extérieur visible de vitellus ait disparu. Le début de l'alimentation semble synchronisé avec l'histogénèse de la muqueuse oro-pharyngienne, particulièrement les cellules muqueuses et les bourgeons gustatifs. Ces observations ont été faites à une température ambiante de l'eau de 10°C et la négligence des poissons à se nourrir au jour 37 semble résulter du mauvais développement de la muqueuse ora-pharyngienne. Si on commence l'alimentation trop tôt, l'environnement deviendra pollué et présentera certains dangers ; cependant, il est souhaitable de commencer l'alimentation aussitôt que les premiers poissons nagent vers le haut. On devra donner aux alevins au stade de nage vers le haut une ration légèrement en excès, de façon que la nourriture soit visible sur le fond de l'auge ou du bassin.

La température ambiante influence notablement la consommation de nourriture, très faible à des températures inférieures à 5°C et augmentant graduellement jusqu'à une température d'environ 18°C. Les alevins au stade de nage vers le haut de certaines espèces de salmonidés sont peu disposés à consommer une nourriture sèche à de très basses températures. C'est pourquoi il est parfois nécessaire de commencer avec du foie haché qu'on remplacera graduellement par de la nourriture sèche. Des températures très basses ou très élevées causent un stress énorme chez les poissons.

Le contenu énergétique de la nourriture est un autre facteur influant sur l'ingestion. Tout comme les

animaux terrestres, les poissons visent à satisfaire leur besoin en énergie. La consommation de nourriture diminue dans une eau polluée, par exemple en présence d'une abondante croissance algale. D'autres paramètres de qualité de l'eau, ainsi que des facteurs physiques tels que taux d'échange d'eau, type et taille des installations d'élevage, densité et état physiologique des poissons, agiront sur la consommation de nourriture. Il importe de maintenir les bassins ou les auges propres en tout temps.

Taux d'alimentation

On exprime communément le taux d'alimentation des salmonidés en pourcentage du poids corporel nourri par jour. Comme l'indique le tableau 7, les petits poissons requièrent en nourriture un plus grand pourcentage de leur poids corporel que les poissons plus gros. Ce tableau met également en évidence l'effet marqué de la température ambiante sur les besoins en nourriture. La nourriture, en pourcentage du poids corporel en période de croissance, peut varier entre 0,5 et 10 %, selon plusieurs facteurs. Parmi les anciens guides d'alimentation, beaucoup étaient fondés sur des diètes à niveaux d'énergie très inférieurs à ceux des diètes modernes. Les niveaux d'alimentation suggérés dans ces guides sont donc beaucoup trop élevés.

La distribution de la nourriture, tant automatique que manuelle, donnera de bons résultats si l'opérateur est expérimenté. La fréquence des repas est importante et les alevins au stade de nage vers le haut doivent être nourris avec de petites quantités 20–24 fois par jour, la fréquence diminuant graduellement jusqu'à une à trois fois par jour à mesure que le poisson grandit. Certains éleveurs préfèrent utiliser une période d'éclairage de 24 h par jour pendant plusieurs jours au départ, jusqu'à ce que les poissons prennent régulièrement de la nourriture sèche. La grosseur, la dureté et la texture des particules des aliments, ainsi que la position de la nourriture par rapport à la taille du poisson sont d'importantes considérations. Les très petits poissons ne se déplaceront que sur de courtes distances pour atteindre leur nourriture, tandis que les grands se déplaceront librement dans toute l'enceinte.

La plupart des programmes d'alimentation ne sont que des guides approximatifs sur la quantité de nourriture à donner à des poissons de longueur ou de poids déterminés. Selon les conditions du marché des ingrédients qui entrent dans les rations, les manufacturiers changent la composition de la formule et, partant, la saveur. De plus, lorsque des programmes ont été établis expérimentalement avec une nourriture particulière, ce fut dans des conditions à peu près idéales et avec des truites arc-en-ciel. Ces programmes ne s'appliqueraient donc pas à d'autres salmonidés élevés dans des conditions différentes. Les pisciculteurs devraient connaître le taux de croissance et le rendement de nourriture adéquats à une température ambiante donnée, pour leur lignée et espèce de poisson, pour ensuite adopter un programme d'alimentation qui se rapprocherait de ces normes. À défaut de telles normes, on risque d'obtenir une croissance et un rendement de nourriture bien au-dessous du potentiel des poissons. La figure 6, par exemple, montre des courbes de croissance satisfaisante chez une lignée de truites arc-en-ciel élevées à 7, 11 et 15°C. Pour y arriver, il faut qu'à chaque repas, les poissons soient nourris jusqu'au point où ils cessent de saisir activement la nourriture. Cela signifie qu'il faut consacrer beaucoup plus de temps à nourrir les poissons à de froides températures ambiantes qu'à des températures normales ou plus élevées. Il existe toutefois des situations où les poissons ne doivent pas être nourris selon leur appétit. Par exemple, si la température ambiante monte assez rapidement sur une période de quelques jours, une augmentation soudaine

Tableau 7. Guide d'alimentation des poissons[a].

Nombre de poissons par kilogramme	Grosseur des boulettes	Température de l'eau (°C)									
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		% poids corporel par jour									
2600	1	2,9	3,4	3,7	3,9	4,6	4,8	5,2	5,8	6,0	6,4
1300	1	2,8	3,3	3,6	3,8	4,4	4,7	4,9	5,6	5,9	6,1
700	2	2,7	3,0	3,3	3,6	4,1	4,5	4,8	5,1	5,6	5,8
400	2	2,6	2,8	3,0	3,2	3,9	4,0	4,6	4,9	5,0	5,1
200	3	2,3	2,6	2,8	3,0	3,6	3,8	4,3	4,5	4,6	4,7
130	3–4	2,1	2,3	2,5	2,8	3,3	3,6	3,7	3,9	4,0	4,1
90	4	1,9	2,0	2,1	2,4	2,7	2,9	3,0	3,2	3,6	3,8
40	3/32	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,4	2,6	3,0	3,2
30	3/32	1,5	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,2	2,8	2,9
20	1/8	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,4	2,5
15	1/8	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,4
10	3/16	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
5	3/16	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
2	1/4	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6

[a]Taux d'alimentation fondés sur une seule lignée de truites arc-en-ciel nourries avec des rations sèches contenant environ 3000 kcal d'énergie digestible par kg.

d'ingestion de nourriture correspondant à un plus grand appétit présenterait un réel danger. Dans un étang, une combinaison de jours sombres sans photosynthèse, d'une élévation de la température de l'eau qui diminue la capacité de charge d'oxygène et enfin, d'une biomasse abondante de poissons, nécessite une diminution du volume de nourriture offerte, même si les poissons semblent vouloir se nourrir avidement. Dans de telles conditions, une suralimentation abaisserait le niveau d'oxygène dissous à 5 mg · L^{-1} ou moins à long terme et il en résulterait une mortalité excessive. Il faudrait vérifier fréquemment les variations journalières de la teneur en oxygène dissous dans l'eau et spécialement après les repas. Cette information servirait à déterminer le temps, la quantité et la fréquence des repas.

Quel que soit l'appétit des poissons, les changements dans la quantité de nourriture offerte devraient toujours être graduels, sur une période de plusieurs jours. Il en est de même quand on passe d'une grosseur de particules de nourriture à la grosseur suivante : les deux nourritures devront être mélangées pendant quelques jours dans diverses proportions avant le changement complet. Un avantage des boulettes flottantes par rapport aux boulettes réduites à la vapeur est que la présence des premières à la surface indique le moment où il faut cesser la distribution de nourriture. Pour que les poissons conservent un bon appétit, il est mieux de leur offrir à chaque repas un peu moins plutôt qu'un peu trop de nourriture. À long terme, il y aura plus de nourriture de consommée et les taux de croissance seront plus élevés.

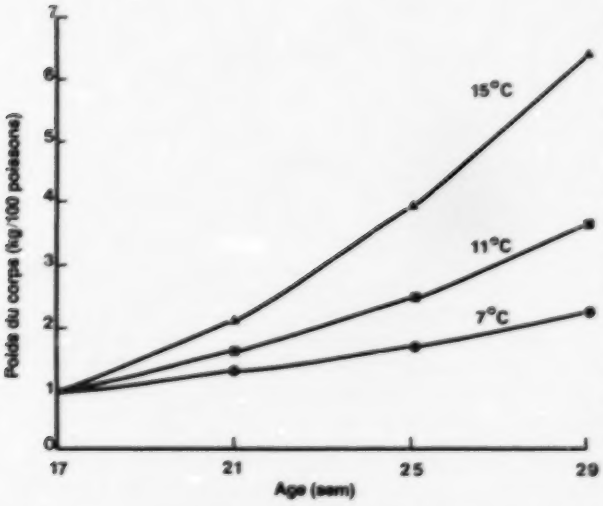

FIG. 6. Croissance de la truite arc-en-ciel à différentes températures (Slinger et Cho 1978).

La plupart des salmonidés devraient être choisis comme stock reproducteur à l'âge de 2–3 ans. À ce moment-là, on devra remplacer la diète de croissance ou de production par une diète de stock reproducteur. Il n'est pas nécessaire de nourrir un stock reproducteur plus d'une fois par jour, et l'alimentation devrait cesser quand les poissons cessent de se nourrir activement. Dans les établissements de pisciculture en eau froide (5-7°C), on obtient les meilleurs résultats en cessant complètement l'alimentation des reproducteurs environ 4–6 semaines avant la fraie puis en rétablissant graduellement la ration entière sur une période de 2–3 semaines après la fraie. Dans une eau plus chaude (9–12°C), les reproducteurs devraient être nourris jusqu'à environ 2 semaines avant la fraie. Dans ce cas, l'alimentation devrait être réduite graduellement sur une période de 3–4 semaines avant l'arrêt complet. Ici encore, les poissons devraient retourner graduellement à une ration complète sur une période d'environ 3 semaines après la fraie. Une suralimentation avant la fraie diminue la performance reproductrice.

Remerciements

Nous désirons remercier le professeur C. Young Cho qui nous a offert son appréciation de cette publication spéciale et sa coopération dans la poursuite des recherches qui ont produit l'information qui y est présentée. Nos remerciements s'adressent également à M. Chris Armstrong, anciennement de l'*Ontario Ministry of Natural Resources*, et au Dr Ian Pritchard du ministère des Pêches et des Océans, à Ottawa, qui, pendant longtemps ont suivi et appuyé le programme de nutrition de l'Université de Guelph. Nous avons apprécié également l'appui du Dr H.H. Draper et du Dr Keith Ronald, du Collège des sciences biologiques de l'Université de Guelph. L'aide de l'*Ontario Ministry of Agriculture and Food*, du Conseil national de recherches du Canada (programme de recherche en génie et en sciences naturelles), du ministère des Pêches et des Océans (anciennement Service des sciences de la mer, ministère de l'Environnement) et de l'*Ontario Ministry of Natural Resources, Sports Fisheries Branch*, accordée au programme de recherche du Département de nutrition a été reçue avec gratitude et nous voulons remercier ces organismes. Enfin, nos remerciements vont au ministère des Pêches et des Océans qui a défrayé le coût de cette publication.

Lectures choisies

TRAITÉS GÉNÉRAUX

BARDACH, J.E., J.H. RYTHER ET W.O. MCLARNEY, 1972. *Aquaculture: The farming and husbandry of freshwater and marine organisms.* Wiley - Interscience, New York, Londres, Sydney et Toronto, 868 p.

HALVER, J.E. [ÉD.], 1972. *Fish nutrition.* Academic Press, New York, NY.

HALVER, J.E. ET K. TIEWS [ÉD.], 1979. *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I et II. Proc. World Symp. FAO - EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne, 20 - 23 juin 1978.

HOAR, W.F., J.R. RANDALL ET R. BRETT [ÉD.], 1979. *Fish physiology.* Academic Press, New York, NY.

BESOINS EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1968. *Recommended dietary allowances (by) National Research Council.* 7e éd., Nat. Acad. Sci., Washington, DC.

1973. *Nutrient requirements of trout, salmon and carfish.* 1re éd., Nat. Acad. Sci., Washington, DC.

1977. *Nutrient requirements of warmwater fishes.* 1re éd., Nat. Acad. Sci., Washington, DC.

1978. *Nutrient requirements of laboratory animals (Rat, mouse, gerbil, guinea pig, hamster, vole, fish).* 3e éd, Nat. Acad. Sci., Washington, DC.

1981. *Nutrient requirements of salmonids.* Nat. Acad. Sci., Washington, DC, (Sous presse).

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA, 19xx. *Canadian bulletin on nutrition — Dietary standards for Canada.* Imprimeur de la Reine, Ottawa, (Ontario).

MISES AU POINT GÉNÉRALES — BESOINS DES POISSONS EN PROTÉINES

COWEY, C.B., 1975. Aspects of protein utilization by fish, *Proc. Nutr. Soc.*, 34 : 57 - 63.

1979. Protein and amino acid requirements of finfish, p. 3 - 16, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO - EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

COWEY, C.B. ET J.R. SARGENT, 1979. Nutrition, p. 1 - 59, dans W.F. Hoar, J.R. Randall et R. Brett [éd.], *Fish physiology.* Academic Press, New York, NY.

MERTZ, E.T., 1969. Amino Acid and protein requirements of fish, p. 233 - 244, dans O.W. Neuhaus et J.E. Halver [éd.], *Fish in research.* Academic Press, New York, NY.

1972. The protein and amino acid needs, p. 105 - 143, dans J.E. Halver [éd.], *Fish nutrition.* Academic Press, New York, NY.

OGINO, C., 1980. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids, *Bull. Jap. Soc. Sci. fish.*, 46(2) : 171 - 174.

MISES AU POINT GÉNÉRALES — BESOINS DES POISSONS EN LIPIDES

CASTELL, J.D., 1979. Review of lipid requirements of finfish, p. 59-84, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

COWEY, C.B. ET COLL., 1976. Studies on the nutrition of marine flatfish. The effect of different dietary fatty acids on the growth and fatty acid composition of turbot (*Scophthalmus maximus*), *Br. J. Nutr.*, 36 : 479-486.

COWEY, C.B. ET J.R. SARGENT, 1977. Lipid nutrition in fish (Minireview), *Comp. Biochem. Physiol.*, 57B : 269-273.

SARGENT, J.R., 1976. The structure and function of lipids in marine organisms, p. 149-212, dans D.C. Malins and J.R. Sargent [éd.], *Biochemical and biophysiological perspectives in marine biology.* Academic Press, New York, NY.

BESOINS EN VITAMINES

BARNETT, B.J., C.Y. CHO ET S.J. SLINGER, 1978. The essentiality of cholecalciterol in the diets of rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Comp. Biochem. Physiol.*, 63A : 291-297.

CASTLEDINE, A.J., C.Y CHO, S.J. SLINGER, B. HICKS ET H.S. BAYLEY, 1978. Influence of dietary biotin level on growth, metabolism and pathology of rainbow trout, *J. Nutr.*, 108 : 698-711.

HALVER, J.E., 1972. The vitamins, p. 30-105, dans J.E. Halver [éd.], *Fish nutrition.* Academic Press, New York, NY.

1979. Vitamin requirements of finfish, p. 45-58, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology.* Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

HILTON, J.W., C.Y. CHO ET S.J. SLINGER, 1977a. Evaluation of the ascorbic acid status of rainbow trout, *J. Fish Res. Board Can.*, 34 : 2207-2210.

1977b. Factors affecting the stability of supplemental ascorbic acid in a practical trout diet, *J. Fish Res. Board Can.*, 34 : 683-687.

1978a. Effect of hypervitaminosis A on the development of ascorbic acid deficiency in underyearling rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Aquaculture*, 13 : 325-330.

1978b. Effect of graded levels of supplemental ascorbic acid in practical diets fed to rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *J. Fish Res. Board Can.*, 35 : 431-436.

JOHN, M.J. ET C.L. MAHAJAN, 1979. The physiological response of fishes to a deficiency of cyanocobalamin and folic acid, *J. Fish. Biol.*, 14 : 127-134.

JURSS, K., 1978. The effect of pyridoxine deficiency on aminotransferase activity in liver and white muscle of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.), *Comp. Biochem. Physiol.*, 61B : 385-390.

POSTON, H.A., 1967. Effect of dietary L-ascorbic acid on immature brook trout, *Fish Res. Bull. 30, Cortland Hatchery Rep. No. 35 for the year 1966*, p. 46-51.

1976. Optimum level of dietary biotin for growth, feed utilization, and swimming stamina to fingerling lake trout (*Salvelinus namaycush*), *J. Fish Res. Board Can.*, 33 : 1863-1886.

SATO, M., 1978. Dietary ascorbic acid requirement of rainbow trout for growth and collagen formation, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1029-1035.

WOODALL, A.N., L.M. ASHLEY, J.E. HALVER, H.S. OLCOTT ET J. VAN DER VEEN, 1964. Nutrition of salmonoid fishes. XII. The α-tocopherol requirements of chinook salmon, *J. Nutr.*, 84 : 125-135.

HYDRATES DE CARBONE

AUSTRENG, E., S. RISA, D.J. EDWARDO ET H. HOIDSTEN, 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets. II. Influence of carbohydrate levels on chemical composition and feed utilization of fish from different families, *Aquaculture*, 11 : 39-50.

BERGOT, F., 1979. Problèmes particuliers posés par l'utilisation des glucides chez la truite arc-en-ciel, *Ann. Nutr. Aliment.*, 33 : 247-257.

1979. Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of level and source of carbohydrate and number of meals on growth and body composition, *Aquaculture*, 18 : 157-168.

COWEY, C.B., M. DE LA HIGUERA ET J.W. ADRON, 1977a. The effect of dietary composition and of insulin on gluconeogenesis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Br. J. Nutr.*, 38 : 385-395.

COWEY, C.B., D. KNOX, M.J. WALTON ET J.W. ADRON, 1977b. The regulation of gluconeogenesis by diet and insulin in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Br. J. Nutr.*, 38 : 463-470.

EDWARDO, D.J., E. AUSTRENG, S. RISA ET T. GJEDREM, 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets 1. Growth of fish of different families fed diets containing different proportions of carbohydrate, *Aquaculture*, 11 : 31-38.

PIEPER, A. ET E. PFEFFER, 1979. Carbohydrates as possible sources of dietary energy for rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson), p. 209-220, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO - EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

SHIMENO, S., H. HOSOKAWA ET M. TAKEDA, 1979. The importance of carbohydrate in the diet of a carnivorous fish, p. 127-137, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. I. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

MINÉRAUX

COWEY, C.B., 1977. The production of renal calcinosis by magnesium deficiency in rainbow trout, *Salmo gairdneri, Br. J. Nutr.*, 38 : 127-135.

HILTON, J.W., P.V. HODSON ET S.J. SLINGER, 1980. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *J. Nutr.*, 110 : 2527-2535.

KAWATSU, H., 1972. Studies on the anemia of fish-V. Dietary iron deficient anemia in brook trout, *Salvelinus fontinalis, Bull. Freshw. Fish. Res. Lab. (Tokyo)*, 22 : 59-67.

KETOLA, H.G., 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus, *Trans. Am. Fish. Soc.* 104 : 548-551.

1978. Dietary zinc prevents cataract in trout, *Fed. Proc.*, 37 : 584.

1979. Influence of dietary zinc on cataracts in rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *J. Nutr.*, 109 : 965-969.

LALL, S.P., 1979. Minerals in finfish nutrition, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. 1. Proc. World Symp. FAO-EIFC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

LALL, S.P. ET F.J. BISHOP, 1977. Studies on mineral and protein utilization by Atlantic salmon grown in sea water, *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.*, 688 : 17 p.

OGINO, C., 1978. Requirement of rainbow trout for dietary magnesium, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1105-1108.

OGINO, C. ET H. TAKEDA, 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1019-1022.

OGINO, C. ET G.-Y. YANG, 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 1015-1018.

POSTON, H.A., G.F. COMBS JR. ET L. LEIBOVITZ, 1976. Vitamin E and selenium interrelationships in the diet of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) : gross, histological and biochemical deficiency signs, *J. Nutr.*, 106 : 892-904.

REINITZ, G.L., L.E. ORME ET F.N. HITZEL, 1978. Phosphorus requirement for rainbow trout, *Feedstuffs*, 50(45) : 17.

RUMSEY, G.L., 1977. *Fish nutrition — recent advances*. Proc. Intl. Symp. on Diseases of Cultured Salmonids, Seattle, Washington, 4-7 avril 1977, p. 16-40.

FORMULATION, TRANSFORMATION ET STOCKAGE DES NOURRITURES

CHO, C.Y. ET S.J. SLINGER, 1977. *Significance of digestibility measurements in formulation of feeds for rainbow trout*. Proc. 13th Annu. Nutr. Conf. for Feed Manuf., Toronto, Can., 4-6 mai, p. 15-19.

HALVER, J.E., 1976. Formulating practical diets for fish, *J. Fish Res. Board Can.*, 33 : 1032-1039.

HALVER, J.E. ET K. TIEWS [ÉD.], 1979. *Finfish nutrition and finfish technology, vol. I. A. Finfish nutrient requirements. B. Finfish husbandry feeding techniques*. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

1979. *Finfish nutrition and finfish technology, Vol. II. C. Feed formulation and technology. D. Feed influence on product quality. E. Methodology in fish nutrition and feed technology*. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

HASTINGS, W.H. ET C.B. COWEY, 1977. Fish diets and culture media, p. 279-290, dans M. Rechsigl Jr. [éd.], *CRC handbook series in nutrition and food, Section G, Vol. 2. Diets, culture media and food supplements*. Chemical Rubber Company Press, West Palm Beach, Floride.

HILTON, I.W., C.Y. CHO ET S.J. SLINGER, 1977. Factors affecting the stability of supplemental ascorbic acid in practical trout diets, *J. Fish. Res. Board Can.*, 34 : 683-687

1981. Effect of extrusion processing and steam pelleting on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.), *Aquaculture* (Sous presse)

KAY, W.A., C.Y. CHO, H.S. BAYLEY ET S.J. SLINGER, 1976. *Recent experiments on the formulation of rainbow trout diets*. Proc. Nutr. Conf. for Feed Manuf., Toronto, Can., 21-22 avril, p. 68-73.

SLINGER, S.J. ET C.Y. CHO, 1978. Fish farming — research needs and prospects. Highlights of Agricultural Research in Ontario, *Ont. Minist. Agric. Food*, Novembre, p. 13-16.

SLINGER, S.J., C.Y. CHO ET H.S. BAYLEY, 1974. *Effect of binding agents in steam-pelleted and extruded diets on fish performance and pellet durability*. Proc. 3rd Fish Feed and Nutrition Workshop, 24-25 sept., Cortland, New York, NY, p. 64-72.

SLINGER, S.J., A. RAZZAQUE ET C.Y CHO, 1979. Effect of feed processing and leaching on the losses of certain vitamins in fish diets, p. 425-534, dans J.E. Halver et K. Tiews [éd.], *Finfish nutrition and fishfeed technology*, vol. II. Proc. World Symp. FAO-EIFAC, ICES and IUNS, Hambourg, Allemagne.

POOR

QUALITY

ORIGINAL